

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«На правах рукопису»

До захисту допущено

УДК 661

Завідувач кафедри, д-р. техн. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

“ _____ ” _____ 2019 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: **Моделювання процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок**

Виконав: студент VI курсу, групи ЛН-71мн

Новодворський Володимир Валерійович

Науковий керівник: кандидат технічних наук,

доцент Степанюк А. Р.

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних

ситуаціях канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.

Розроблення стартап проекту доцент кафедри

промислового маркетингу, канд. екон. наук Юдіна Н.В.

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь , прізвище і ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь , прізвище і ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень праць інших авторів без
відповідних посилань

Студент _____ В.В. Новодворський

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: Магістр науковий

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 13 «Механічна інженерія»

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 133 «Галузеве машинобудування»

СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Інжиніринг, обладнання та технології хімічних і нафтопереробних виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, д-р. техн. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

«___» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

студенту Новодворському Володимирі Валерійовичу

1. Тема дисертації: Процес вловлювання вискодисперсних твердих частинок.

Науковий керівник: Степанюк Андрій Романович к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від «13» березня 2019 р. № 881-с .

2. Термін подання студентом дисертації: 25 квітня 2019 р.

3. Об'єкт дослідження: є процес розділення неоднорідних газових систем в полі відцентрових сил.

4. Предмет дослідження: є вловлювання пилоподібного продукту із газових систем, що містять насичені водяні пари із застосуванням локального

зрошування;

5. Перелік питань, які потрібно розробити:

- розробка методу і способу процесу вловлювання тонкодисперсних багатокомпонентних сумішей в апараті циклонного типу із застосуванням гідротранспорту вихідного робочого розчину;

- підвищити ефективність вловлювання тонкодисперсних частинок менше 10 мкм в першій ступені очистки без залучення додаткової кількості води для роботи мокрого циклону;

- збільшити концентрацію сухих речовин робочого розчину (як тонкодисперсна суспензія для подачі в апарат)

- підвищити екологічну безпеку (зменшити кількість викидів) твердих частинок в навколишнє середовище та зменшення витрат води на проведення процесу;

- проаналізувати існуючі способи та обладнання для вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- сформулювати фізичну та розробити математичну модель вловлювання високодисперсних твердих частинок в циклонах із застосуванням локального зрошування;

- розробити методику експериментальних досліджень процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- розробити математичну модель вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- розробити експериментальну установку для дослідження характеристик циклону;

- перевірити адекватність фізичної і математичної моделей вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- обґрунтувати конструкцію циклону та матеріали для його виготовлення при реалізації механізму вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- розробити методику та алгоритм розрахунку промислового апарату та обґрунтувати конструкцію вузла пиловловлювання.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: креслення циклону (A1), презентація магістерської дисертації.

7. Перелік публікацій: заплановано публікування двох статей в наукових виданнях України, участь у 5 конференціях з опублікуванням 5 тез доповідей та отримання патенту України на корисну модель.

8. Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях та розроблення стартап проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.		
Розроблення стартап проекту	канд. екон. наук, доцент Юдіна Н.В.		

9. Дата видачі завдання: „ 09 ”вересня 2017 р.

Завдання прийняв до виконання _____ В.В. Новодворський
(підпис, дата)

Науковий керівник дисертації _____ А.Р.Степанюк
(підпис, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	2	3	4
1	Аналіз літературних і патентних джерел по дослідженню процесу вловлювання вискодисперсних твердих частинок. Формулювання задач теоретичних та експериментальних досліджень.	01.10.2017 – 27.12.2017	
2	Розробка фізичної та математичної моделі процесу вловлювання. Вибір та обґрунтування методів розв'язання математичної моделі.	05.01.2018 – 30.04.2018	
3	Формулювання процесу проведення дослідів. Удосконалення методики проведення експериментів.	13.08.2018 – 30.09.2018	
4	Проведення експериментальних досліджень віскозиметрії.	03.10.2018 – 08.11.2018	
5	Обробка та узагальнення результатів дослідження. Розробка програми розрахунку експериментальних даних	08.11.2018 – 14.12.2018	
6	Висновки й рекомендації щодо проектування нової конструкції циклону.	16.03.2019 – 25.03.2019	

7	Підготовка матеріалів з результатами досліджень до публікації статей у виданнях і до публікації тез доповідей та участі у конференції	26.03.2019 – 15.04.2019	
8	Попередній захист	25.04.2019	
9	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра та її підготовка до захисту.	27.04.2019 – 20.05.2019	

Студент _____ В.В. Новодворський
(підпис, дата)

Науковий керівник дисертації _____ А.Р. Степанюк
(підпис, дата)

РЕФЕРАТ

УДК 661

Магістерська дисертація на тему: «Моделювання процесу вловлювання вискодисперсних твердих частинок» /НТУУ «КПІ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»; Керівник А.Р. Степанюк– 2019. – Виконавець В.В. Новодворський.

Об’єкт дослідження: процес розділення неоднорідних газових систем в полі відцентрових сил.

Предмет дослідження: вловлювання пилоподібного продукту із газових систем, що містять насичені водяні пари із застосуванням локального зрошування.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу грануляції шляхом суміщення мокрого і сухого вловлювання в циклоні.

Наведено інформацію про походження проблеми вловлювання вискодисперсних твердих частинок та аналіз методики експериментальних досліджень.

Сформульовано фізичну модель процесу вловлювання вискодисперсних твердих частинок.

Сформульовано математичну модель комбінованої системи охолодження циклонного апарату, розроблено алгоритм та програму розрахунку математичної моделі процесу.

Розроблено рекомендації щодо проектування нових конструкцій пиловловлювачів.

ПИЛОВЛОВЛЮВАЧ, ПОЛІДИСПЕРСНИЙ ПИЛ, АПАРАТ, ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ, ЦИКЛОН, СЕПАРАТОР, ТВЕРДА ЧАСТИНКА

РЕФЕРАТ

УДК 661

Магистерская диссертация на тему: «Моделирование процесса улавливания высокодисперсных твердых частиц» / НТУУ «КПИ имени ИГОРЯ СИКОРСКОГО»; Руководитель А.Р. Степанюк- М., 2019. - Исполнитель В.В. Новодворский.

Объект исследования: процесс разделения неоднородных газовых систем в поле центробежных сил.

Предмет исследования: улавливания пылевидного продукта из газовых систем, содержащих насыщенные водяные пары с применением локального орошения.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности процесса грануляции путем совмещения мокрого и сухого улавливания в циклоне.

Приведена информация о происхождении проблемы улавливания высокодисперсных твердых частиц и анализ методики экспериментальных исследований.

Сформулировано физическую модель процесса улавливания высокодисперсных твердых частиц.

Сформулировано математическую модель комбинированной системы охлаждения циклонного аппарата, разработан алгоритм и программа расчета математической модели процесса.

Разработаны рекомендации по проектированию новых конструкций пылеуловителей.

ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ, ПОЛИДИСПЕРСНАЯ ПЫЛЬ, АППАРАТ, ОЧИСТКА ВОЗДУХА, ЦИКЛОН, СЕПАРАТОР, ТВЕРДАЯ ЧАСТИЦА

ABSTRACT

UDC 661

The Master's thesis on the topic: «Modeling of process of capturing highly dispersed solid particles» / National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"; Thesis supervisor: A.R. Stepaniuk - K., 2019. -. Developer–V.V. Novodvorskyi.

The Object of the research: process of a gas stream cleaning from composite contaminants.

The Subject of the research: technological parameters of the process of a gas stream cleaning from composite contaminants in a cyclone apparatus.

The aim of the thesis is to develop the energy efficiency system for capturing composite contaminants containing solid particles and water vapor in a cyclone apparatus.

Information on the origin of the problem of capturing highly dispersed solid particles has been provided and the analysis of experimental research methods has been given.

A physical model of the process of capturing highly dispersed solid particles has been formulated.

A mathematical model of cooling of a cyclone apparatus has been formulated, an algorithm and a program for calculating a mathematical model of the process have been developed.

Recommendations for modeling of new designs of dust collectors have been developed.

DUST COLLECTOR, POLYDISPERS DUST, APPARATUS, AIR CLEANING, CYCLONE, SEPARATOR, SOLID PARTICLE

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	13
ВСТУП	15
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
1.1 Схеми процесу вловлювання	18
1.2 Способи розділення неоднорідних багатокomпонентних систем в полі відцентрових сил	22
1.3 Способи мокрої газоочистки.....	28
1.4 Висновки	35
2 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК.....	36
2.1 Опис запропонованої конструкції циклону.....	36
2.2 Фізична модель процесу вловлювання	37
2.3 Фізична модель процесу конденсації водяної пари з утворенням плівки.....	42
2.4 Математична модель процесу охолодження водяної пари, що контактує з плівкою	44
2.5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	45
2.5.1 Повітря робочої зони	46
2.5.1.1 Небезпека впливу елементів устаткування, нагрітого до високих температур	49
2.5.2 Небезпека ураження електричним струмом.....	49
2.5.3 Виробничий шум та вібрації	51
2.5.4 Вплив механізмів, які рухаються і обертаються.....	54
2.5.5 Надзвичайні ситуації для ремонтних або аварійних робіт	54
2.5.6 Пожежна безпека та надзвичайні ситуації	56
2.6 Висновки	60
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ	61
3.1 Визначення реологічних параметрів рідкої фази при різних концентраціях	

твердих частинок	61
3.1.1 Висновки	68
3.2 Методика проведення досліджень реологічних параметрів рідкої фази	69
3.3 Опис експериментальної установки для проведення досліджень реологічних параметрів неньютонівських рідин методом віскозиметрії.....	70
3.4 Перевірка адекватності математичної моделі	71
4. ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	72
4.1 Опис експериментальної установки.....	72
4.2 Методика розрахунку циклону при одержанні багатокомпонентних органо-мінерально-гумінових добрив.....	73
4.3.1 Вихідні дані до розрахунку	73
4.3.2 Матеріальний розрахунок гранулятора	75
4.3.3 Тепловий розрахунок гранулятора.....	75
4. 4 Розрахунок швидкості подачі повітря у циклон	78
4.5 Матеріальний розрахунок циклону	78
4.6 Гідравлічний розрахунок апарату	79
4.7 Визначення поверхні теплообміну	79
4.8 Результати розрахунку циклона	83
4.4 Висновки	83
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	84
5.1 Опис ідеї проекту	84
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	88
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	90
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	102
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	104
5.6 Висновки	109
ВИСНОВКИ.....	111
ВЫВОДЫ	113

CONCLUSIONS	Помилка! Закладку не визначено.
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	117
Додаток А Програма розрахунку математичної моделі процесу	122
Додаток Б Таблиця результатів експериментів	131
Додаток В Розрахунок похибок експериментальних даних	133
Додаток Г Програма розрахунку циклонного апарату з охолодженням	137
Додаток Д Публікації	142

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

T – температура, $^{\circ}\text{C}$;

λ – теплопровідність матеріалу, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$;

ρ – густина матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C – питома теплоємність матеріалу, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$;

τ – час, с ;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$;

Re – критерій Рейнольдса;

Nu – критерій Нуссельта;

Δx_i – похибка між експериментальними даними та результатами розрахунку за математичною моделлю по вісі часу в i точці;

x_i – значення температури в точці i часі за розрахунковими даними;

n – кількість дослідних точок;

Q_p – питома теплота пароутворення;

Q – витрати теплоти, $\text{Дж}/\text{кг}$

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря при температурі навколишнього середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$C_{\text{п}}$ – теплоємність повітря, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}$;

m_p – маса поданої рідини, кг ;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$;

r – питома теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$;

ν – кінетична в'язкість, $\text{м}^2/\text{с}$;

ΔP – гідравлічний опір, Па ;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

G_2 – продуктивність гранулятора за готовим продуктом, $\text{т}/\text{год}$

D_e – еквівалентний діаметр частинок у псевдозрідженому шарі, мм

D_{min} – мінімальний діаметр часток у псевдозрідженому шарі, мм

ε – порозність нерухомого шару

u_2 – кінцева вологість гранульованого продукту, %

α – коефіцієнт, що враховує втрати розчину в магістралі

x_p – концентрація початкового розчину, %

x_0 – вологовміст теплоносія перед калорифером, %

t_0 – температура теплоносія перед калорифером, °C

t_1 – температура теплоносія на вході в шар матеріалу, °C

t_2 – температура теплоносія на виході із шару матеріалу, °C

θ_1 – температура матеріалу до гранулятора, °C

ρ_r – густина матеріалу, кг/м³

C_m – теплоємність матеріалу, Дж/(кг·C)

C_b – теплоємність води, Дж/(кг·C)

ψ – розрахунковий мінімальний коефіцієнт гранулоутворення, %

ξ_2 – коефіцієнт гідравлічного опору

L – щільність зрошення, кг/(м²·с)

V – вільний об'єм, м³/м³

h – висота циклону, м

μ_r – вязкість розчину, Па·с

W_{rov} – швидкість входу повітря в апарат, м/с

W_v – швидкість входу розчину в апарат., м/с

R_n – радіус патрубку, м

ВСТУП

Актуальність теми

У зв'язку із збільшенням народонаселення на земній кулі попит на продукцію сільського господарства ростиме. Україна входить до числа країн які широко користуються попитом на сільськогосподарську продукцію.

При непередбаченому використанні ґрунтів вони піддаються ерозії. Разом з тим якість і кількість продукції неможливо забезпечити без застосування добрив. Тому виникає потреба у використанні добрив нового покоління.

Процес виготовлення мінеральних добрив доцільно проводити у грануляторі із псевдозрідженим шаром, так як у нього коефіцієнт використання телоти більше 50 %. У процесі грануляції утворюється суміш пилу та водяної пари, так як утворений пил може використовуватися у якості сировини він має велике значення і вловлення його є важливою задачею. Для цього ефективним є застосування системи вловлювання у полі відцентрових сил, використовуючи циклонний процес.

В промисловості на підприємствах досить поширені є пиловловлювачі мокрого типу, передусім дрібних частинок у діапазоні $d > 0,3—1,0$ мкм. Але варто зауважити ряд вад таких пиловловлювачів: утворюється шлам, для якого необхідні спеціальні системи щоб його перероблювати; викидається волога в навколишнє середовище; потреба у створенні системах зворотнього постачання води. Також слід зауважити, що дані вади ненабагато зменшують область використання апаратів мокрого типу очистки. Вони нерідко застосовуються на різних типах підприємств таких, як: машинобудівні, ливарні, металургійні, нафтодобувні, деревообробні та інші [1].

Для вловлювання сухих викидів можна застосовувати циклони та рукавні фільтри. Основними недоліками рукавних фільтрів є те, що вони працюють

тільки із сухими матеріалами, не довговічність тканини та дуже низька ефективність вловлювання частинок діаметром менше 10 мкм. Основними перевагами циклонів є простота виготовлення, відсутність рухомих деталей, відносно невеликий гідравлічний опір і велика продуктивність. В основному вловлюються частинки розміром більше 5 мкм тому, що частинки з меншим розміром майже не вловлюються [2].

Тому модернізація існуючого обладнання спрямована на підвищення ефективності вловлювання дрібних часток задача якої є актуальною.

Було запропоновано циклон який підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, що складається з твердих частинок та водяної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті [3].

Мета і завдання дослідження

Метою роботи підвищення ефективності процесу грануляції шляхом суміщення мокрого і сухого вловлювання в одному циклоні.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі дослідження:

- розробка методу і способу процесу вловлювання тонкодисперсних багатокомпонентних сумішей в апараті циклонного типу із застосуванням гідротранспорту вихідного робочого розчину;
- підвищити ефективність вловлювання тонкодисперсних частинок менше 10 мкм в першій ступені очистки без залучення додаткової кількості води для роботи мокрого циклону;
- збільшити концентрацію сухих речовин робочого розчину (як тонкодисперсна суспензія для подачі в апарат)
- підвищити екологічну безпеку (зменшити кількість викидів) твердих частинок в навколишнє середовище та зменшення витрат води на проведення процесу;
- проаналізувати існуючі способи та обладнання для вловлювання

високодисперсних твердих частинок;

- сформулювати фізичну та розробити математичну модель вловлювання високодисперсних твердих частинок в циклонах із застосуванням локального зрошування;

- розробити методику експериментальних досліджень процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- розробити математичну модель вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- розробити експериментальну установку для дослідження характеристик циклону;

- перевірити адекватність фізичної і математичної моделей вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- обґрунтувати конструкцію циклону та матеріали для його виготовлення при реалізації механізму вловлювання високодисперсних твердих частинок;

- розробити методику та алгоритм розрахунку промислового апарату та обґрунтувати конструкцію вузла пиловловлювання.

Об’єктом дослідження є процес розділення неоднорідних газових систем в полі відцентрових сил.

Предметом дослідження є вловлювання пилоподібного продукту із газових систем, що містять насичені водяні пари із застосуванням локального зрошування.

Методи досліджень: фізико–математичне моделювання процесу видалення композитних забруднень в циклонному апараті з застосуванням теоретичних та експериментальних методів досліджень, аналіз отриманих даних.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Схеми процесу вловлювання

Мінеральні добрива мають важливе значення у сільському господарстві, тому їх виготовлення є важливим процесом, який доцільно проводити у грануляторі із псевдозрідженим шаром. Адже в грануляторі із псевдозрідженим шаром коефіцієнт використання телоти більше 50 %, тому він енергоефективний. На виході із гранулятора відпрацьованих теплоносіїв насичених водяною парою значний вміст пилоподібного продукту з частинками менше 10 мкм тому доцільно його вловлювати із додаванням робочого розчину з частковою конденсацією водяної пари для повторної подачі на стадію грануляції.

Авторами [4, 5] наведено схему де застосовується сушарка (розпилювальна чи кільцева). Запропоновану схему зображено на рисунку 1.1.

За даною схемою швидко висушуються суспензії, кристали, пасти, гранули та інше.

Процес за даною схемою проходить наступним чином: до потоку повітря, що попередньо нагрілося, йде подача вологого матеріалу, та видалення цієї вологи, переміщуючись по каналах.

Вловлюється суміш композитів коли комбінується суха та мокра газоочистка, використовуючи циклон та скруббер. Замкнення схеми відбувається по циклону, а він очищає по замкненому циклі, тобто частково теплоносіїв переводиться в апарат для перемішування.

Установка має такий недолік: необхідність розділення пило-газової суміші і рідини, яка використовується для вловлення, після стадії очистки за допомогою скрубера.

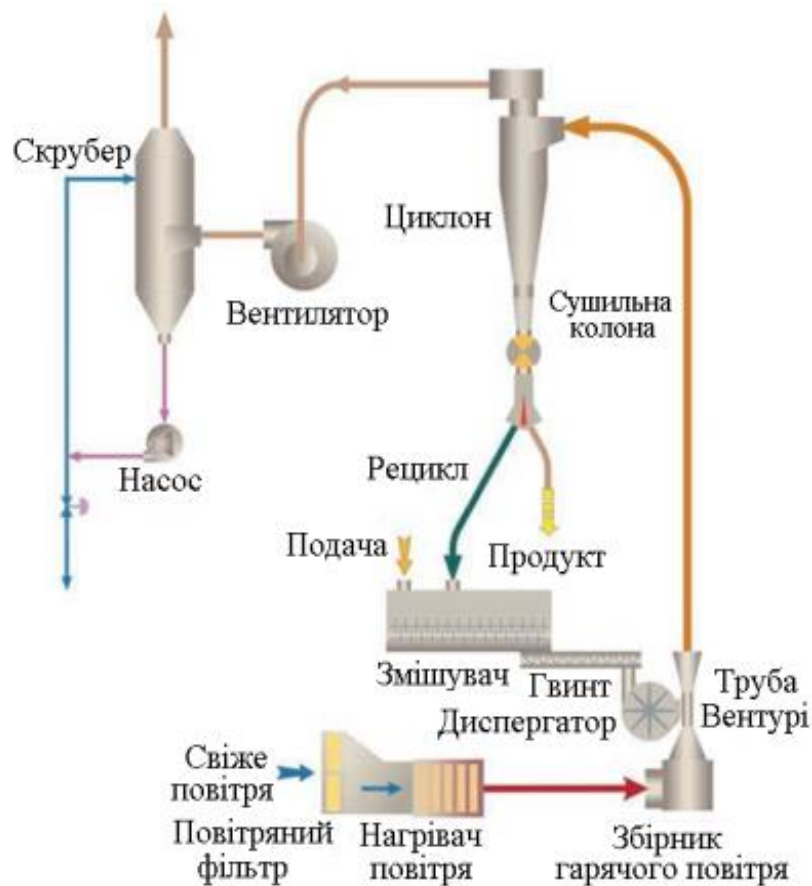


Рисунок 1.1 – Установка сушки вологого матеріалу (де застосовується розпилювальна чи кільцева сушарка

На схемі рисунок 1.2 вказано ротаційну сушарку, кальцинатори і охолоджувачі [4, 5].

Процес проходить при високій температурі сушки, коли велика вологість пропускна здатність, та коли матеріал знаходиться в значному інтервалі величини.

Протягом часу коли обертається сушарка, по гарячому потоку газу відбувається проходження матеріалу, рухаючись по ділянках, що змінюються в залежності від зменшення вологості.

Вловлюються викиди у 2 етапи із застосуванням циклонів (батареїний та одинарний). На першому етапі використовується батареїний циклон, а після нього очищений цим циклоном теплоносій переміщається частково в апарат. По дорозі можливе встановлення газоочисника (мокрого чи сухого). Другий етап

проходить в місці де доводиться готовий продукт, що переміщує газовий теплоносій і розділяється циклоном.

Дана технологія має недолік, тобто нездатність одночасно уловлювати тверді частинки та водяну пару очищуючи теплоносій.

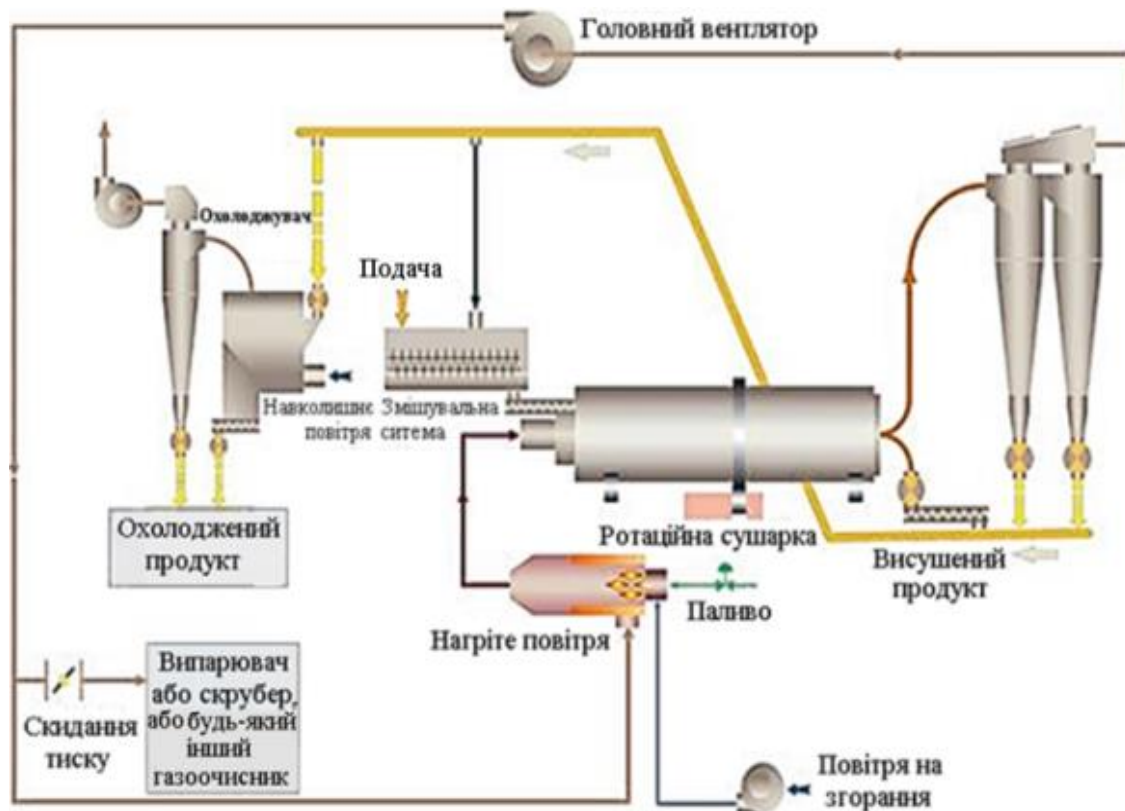


Рисунок 1.2 –Схема, де використовується ротаційна сушарка

Компанією Glatt [7, 25] пропонується установка, із псевдозріженням, на якій повітря проходить попередню фільтрацію і нагрівання, після чого тонко фільтрується. Внутрішні деталі виготовляють із нержавіючої сталі. Нагрівається, зволожується та осушується однією установкою, також і фільтри HEPA, що належать її комплекту.

Glatt, як стандартне обладнання, застосовує тканинний рукавний фільтр при різноманітних умовах.

Новітньою технологією є розробка металевого патронного фільтру superclean, що проходить чистку, миття і сушку в процесі роботи за допомогою

форсунок, що висуваються, в системі постійного промивання і чистки, яка встановлена на установці (рисунок 1.3) [7, 25].



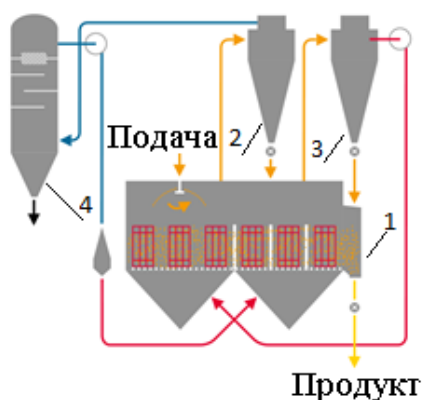
а

б

Рисунок 1.3: а – встановлено форсунку, що висувається, в системі постійного промивання і чистки; б – вигляд патронного фільтру

Недоліком роботи запропонованої технології є періодичність роботи та значний гідравлічний опір фільтруючих перегородок і неможливість вловлювання водяної пари разом з композитним забрудненням водночас.

Фірма GEA Niro запропонувала схему головною ідеєю якої є економія теплоносія. Дану схему зображено на рисунку 1.4 [5, 6].



1 – сушарка; 2, 3 – циклон; 4 – мокрий пиловловлювач

Рисунок 1.4 – Модель псевдозрідження та схеми її реалізації з двоблочною сушаркою, конфігурацією один в одному, замкнутого циклу

Недоліком цієї схеми є утворення сухого пилю, з якого потрібно утворити суспензію, але в даному випадку це важко зробити.

На рисунку 1.5 а, б представлена замкнута система з псевдозрідженим шаром від Glatt [7, 25].

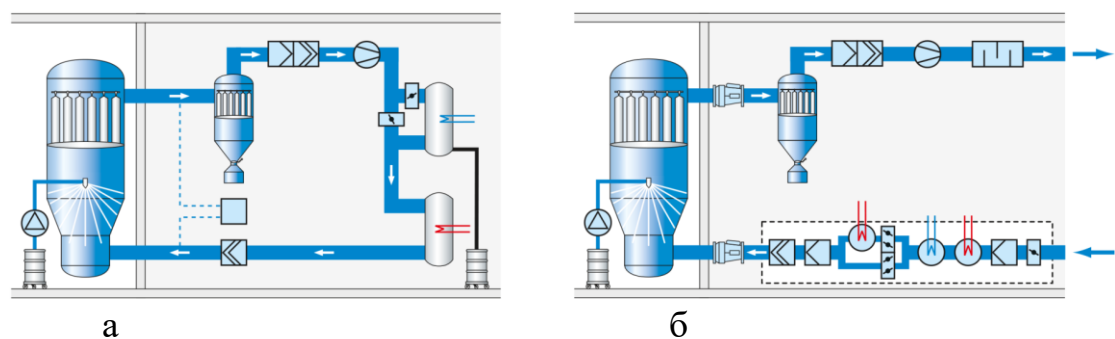


Рисунок 1.5 – замкнута система з псевдозрідженим шаром від Glatt

а – замкнута система з псевдозрідженим шаром з продувкою азотом із системою регенерації розчинника; б – підготовка вхідного і очищенням вихідного повітря.

Для подібних малогабаритних установок недоліком є фільтри в яких йде зрошення та може забиватися апарат, а тоді потрібно зупиняти апарат, також утворений розчин потрібно утилізувати.

При розпилюванні краплі розподіляються на фракції і краплі більш дрібної фракції випаровуються тоді частинки виносяться.

1.2 Способи розділення неоднорідних багатокомпонентних систем в полі відцентрових сил

Викиди дрібнодисперсних твердих частинок, що утворюються в промисловості та транспортних засобах, розглядаються як головні проблеми які викликають погіршення здоров'я та наносять шкоду екології. Хоча традиційні

пристрої для видалення пилу демонструють хороші показники для видалення грубих частинок, вони набагато менш ефективні в уловлюванні дрібних частинок. Це пояснюється тим, що частинки в діапазоні 0,1–1 мкм, важко вловити нинішньою технологією [8].

В даному дослідженні було проведено експерименти з електричної агломерації біполярно заряджених частинок за допомогою лабораторного агломератора та дослідження характеристик зарядки частинок за допомогою зарядних пристроїв [8].

Запропонований метод конденсації малих часток. Він призводить до більшої ефективності видалення твердих часток у повітрі. Тому було запропоновано конденсувати повітря, для перенасичення твердих часток. Тим самим збільшити масу твердих часток і видалення їх із очищеного повітря [9].

Дослідниками [10] експериментально показано, що акустична агломерація має значний позитивний вплив на підвищення розподілення частинок пилу у повітрі. Було доведено, що ефективність виділення збільшується зі збільшенням рівня звукового тиску.

В цьому дослідженні [11] був запропонований процес для зменшення викидів дрібних часток і часток SO_3 і водяної пари. Представлений новий метод розпилення води перед електрофільтром, для відділення дрібних часток із повітря за допомогою електрофільтра. Новий процес був можливим для вихідного димового газу з високими концентраціями SO_3 , високої температури і високої вологості.

Представлена система [12] працює завдяки введення в неї вуглекислого газу, який допомагає очищенню повітря від дрібних часток. Результати показали, що новий спосіб очищення повітря, хімічної агломерації, може значно покращити ефективність видалення дрібних часток.

Було досліджено, авторами [13], три типи апаратів де було заготовлено пил (кварцовий пісок): в перший встановлено жалюзі, другий — відомий, третій — циклон ЦН-11.

Перший варіант мав підвищення ефективності зрівнюючи його з третім варіантом на 2–4% (через встановлені жалюзі, які саморегулюються відповідно до витрат повітря і розміру частинок пилу). Це має велике значення де часто ці показники змінюються. Найкраща ефективність вловлювання пилу у запропонованого апарату, в якому залежно від потоку і пилу є змога змінити кут повороту жалюзі (з використанням ЕОМ).

Представлена структура і функціональні можливості автоматизованої системи досліджень циклонів і скрубєрів, призначеної для визначення щільності пилу і її гранулометричного складу в гравітаційному полі, статистичної обробки результатів експериментального дослідження процесу сепарації в прямоточному циклоні з проміжним відбором пилу, розрахунку ефективності пиловловлювання і гідравлічного опору циклонів і скрубєрів по відомим і авторським методам, вибору оптимального пиловловлювача на задані режими його експлуатації [14].

Авторами [15] представлена детальна інформація про потоки та продуктивність п'яти різних циклонних сепараторів з різними кутами входу отриманий з CFD-DEM. Змінюючи вхідний кут, у циклоні отримують розподіли падіння тиску, тангенціальну та осьову швидкість газової фази (рисунок. 1.3.2).

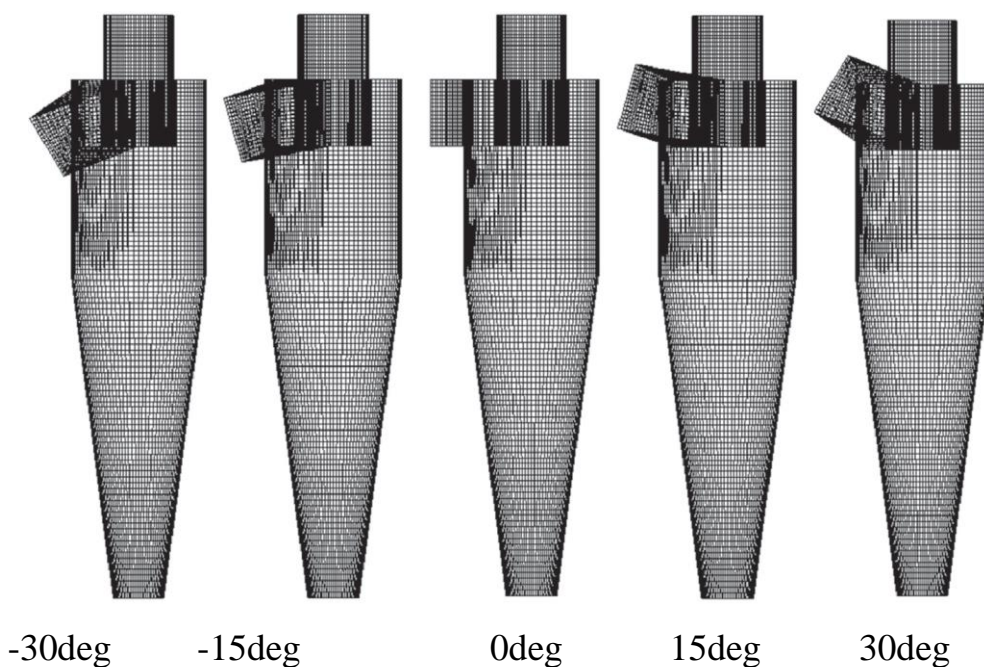


Рисунок. 1.2.1– Конфігурації циклонних сепараторів з різними входами.

Результати моделювання показують, що потік складається з двох областей: вихрова область без втрат і вимушена вихрова область. Визначено ефективність поділу та траєкторію часток. Кількісно визначено вплив кута входу і розміру частинок на ефективність поділу. Досягнуто узгодження між числовим моделюванням і експериментальними результатами.

Розроблена дворівнева компоновка системи каналів в відцентровому фільтрі (рисунок. 1.3.4) дозволила вдвічі зменшити діаметр відцентрових фільтрів. Ефективність роботи і гідравлічний опір такої конструкції перевірені в промислових умовах. Основною ідеєю є вилучення частинок розділяючи простір апарату на зони в яких частинки відносяться до стінок [16].

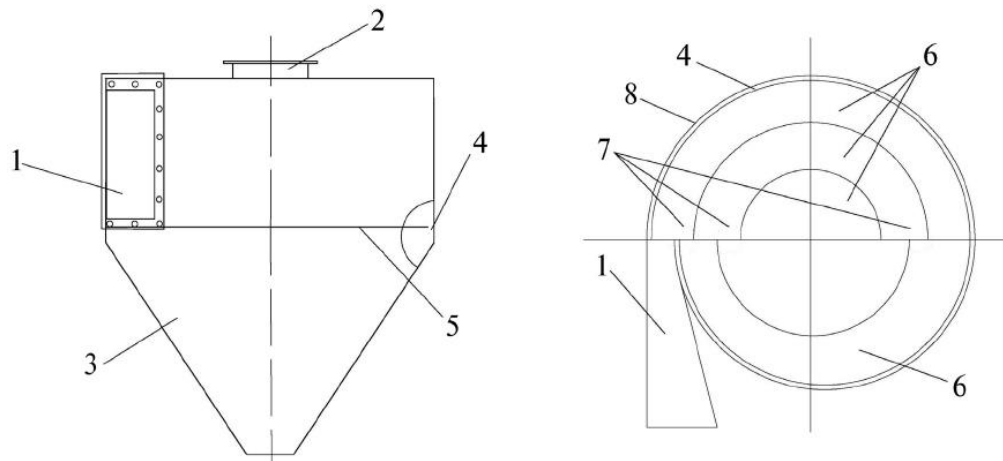


Рисунок. 1.2.2– Відцентровий фільтр в чотирьохканальному виконанні: 1 – вхідний патрубок; 2 – вихідний патрубок; 3 – конічний бункер; 4 – кільцева щілина; 5 – днище головки; 6 – криволінійні канали; 7 – рециркуляційні щілини; 8 – сепараційна камера.

Авторами [17] було виконано експериментальне дослідження для вивчення ефективності циклонних сепараторів, модифікованих трубками з низьким рівнем навантаження з твердими навантаженнями від 0 до $8,0 \text{ г / м}^3$ з швидкістю впуску 10 м / с . Дослідження підтвердило ефективність нижніх комбінованих труб при зменшенні повторного захоплення частинок і збільшенні більш точного розділення з допустимими навантаженнями тиску, що виражалося при низьких умовах навантаження.

Досліджено [18] вплив тиску та застосування декількох циклонів і залежність ефективності вловлювання від цих параметрів. Результати, які досліджувалися, показали важливість геометричних параметрів, з точки зору падіння тиску і ефективності збору це є висота і ширина впускного отвору.

За допомогою описаних методів можна встановити діапазони для падіння тиску і ефективності для одного циклону або серії циклонів. Визначено, що для падіння тиску нижче 2000 Па одного циклону недостатньо. В іншому випадку, якщо необхідна ефективність вловлювання має становити більше 96% , рекомендується три циклони поспіль. З точки зору викидів твердих речовин, щоб отримати значення менше 40 г/м^3 рекомендується три циклони в серії.

Побудовано повну систему диференціальних рівнянь відносно маси, питомої витрати, швидкості, температури і масового вмісту фази для крапель і твердих частинок, а також складу і температури газу стосовно до робочого процесу у порожнистому скрубєрі та скрубєрі Вентурі [19].

Розроблено алгоритми числової реалізації побудованих моделей. Для порожнистого скрубєра розроблено новий ефективний ітераційний алгоритм інтегрування системи рівнянь, де початкові умови для кожної з трьох речовин задаються у відповідному (вхідному для неї) перетині потоку. Алгоритм інтегрування рівнянь для скрубєра Вентурі відрізняється урахуванням впливу турбулентності газового потоку та можливості аеродинамічного подрібнення крупних крапель. У відповідності з розробленими алгоритмами створено два програмні комплекси.

Встановлено, що у порожнистому скрубєрі ефективність очистки η дуже сильно зростає зі збільшенням щільності зрошування горизонтального перетину апарата та зменшенням розмірів крапель; у той же час вплив швидкості газового потоку значно менше, а початкова швидкість крапель майже не впливає на величину η . Визначено ступінь впливу режимних параметрів роботи скрубєра Вентурі на ефективність очистки газів.

На основі зазначених результатів розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності мокрої очистки газів для порожнистих скрубєрів та скрубєрів Вентурі.

Розроблено методику та створено експериментальний стенд [20] для вимірювання параметра коагуляції, завдяки цьому визначено залежність параметра коагуляції від відносної швидкості тверда частинка – крапля та розміру частинок.

Авторами [21] виявлено за результатами досліджень вплив неізотермічності на характеристики дисперсного двофазного потоку в лабіринтному сепараторі виявлено, що температурне поле не впливає на гідродинамічні характеристики

поток в коагуляторі при діапазоні температур $0...100\text{ }^{\circ}\text{C}$ для швидкості потоку $0,1...10,0\text{ м/с}$, а впливає на концентрацію дисперсної фази при проходженні коагулятора.

Розрахунковим способом підтверджено експериментальні дані про підвищення ефективності уловлювання високодисперсних частинок у лабіринтних сепараторах. Ефективність уловлювання для швидкості потоку $0,1...10,0\text{ м/с}$ за неізотермічних умов у середньому вища на 12 %, ніж за ізотермічних.

Показано [22] взаємозв'язок математичного моделювання процесу сепарації відображає процесу руху твердих частинок в апараті з його ефективністю, що дало змогу отримати траєкторію руху частинок на різних ділянках апарата, за якою розрахована його ефективність для різного типу пилу.

Виконано порівняльний аналіз [23] моделей з різними значеннями конструктивного параметра h , що представляє собою найкоротшу відстань між внутрішньою обичайкою елемента і його зовнішньою стінкою, виміряний в площині симетрії, було встановлено, що оптимальним значенням даного параметра є $h \approx 7,5\text{ мм}$, оскільки в діапазоні початкових швидкостей $15 \dots 30\text{ м/с}$ для частинок діаметром $10^{-6} \dots 10^{-5}\text{ м}$ воно дає найбільший сумарний коефіцієнт уловлювання при допустимих значеннях гідродинамічного опору.

1.3 Способи мокрої газоочистки

Циклони є найбільш широко використовуваним встаткуванням в промисловості для пиловловлювання. Ці апарати працюють за рахунок відцентрової сили, щоб відокремити тверді частинки від газоподібних потоків. Основними перевагами циклонів є простота виготовлення, відсутність рухомих деталей, відносно невеликий гідравлічний опір і велика продуктивність [25].

Відцентрові газопромивачі широко використовують для очищення

вентиляційного повітря, найбільш відомі з них апарати – ЦВП і СИОТ [26].

По внутрішній поверхні стінки циклон постійно стікає плівка води, що тангенційно підводиться до апарата через низку трубок, розміщених у його верхній частині.

Залежно від площі вихідного отвору в корпусі циклони можуть мати два виконання: основне, (рис. 1.4.3, а) розмір А, і з удвічі зменшеною площею входу шляхом установки у вихідному патрубку перегородки (рис. 1.4.3, б), розмір А1. Коефіцієнти гідравлічного опору циклонів, віднесені до швидкості повітря в горизонтальному перерезі, досягають таких значень: для першого виконання $\zeta=30$, для другого $\zeta=74$ [26].

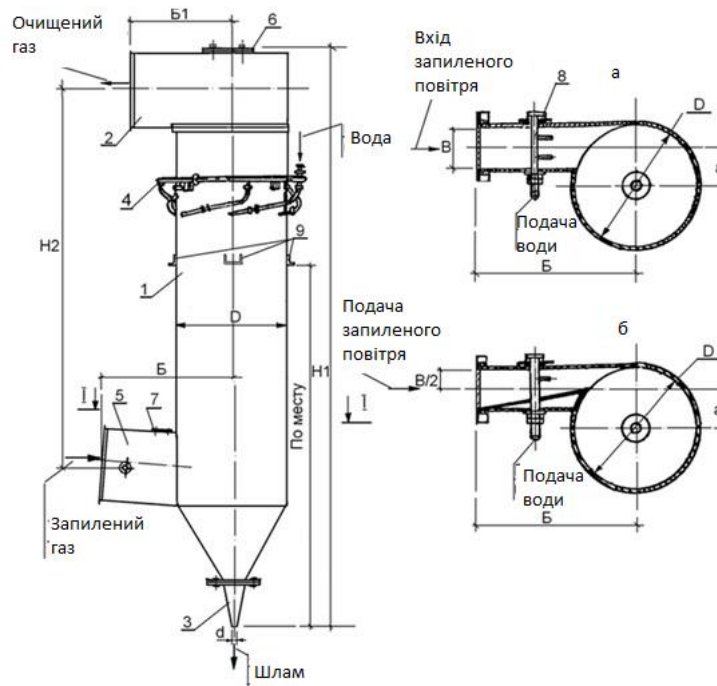


Рисунок. 1.3.1–Циклон із водяною плівкою: а – основний варіант;

б – варіант із підвищеною швидкістю повітря на вході в циклон;

1 – корпус; 2 – вихідний патрубок; 3 – гідрозатвор; 4- колектор;

5 – вхідний патрубок; 6, 7 – люк; 8 – пристосування для змиву; 9 - опора

Переваги: велика ефективність вловлювання;

Недоліки: великі витрати води.

Багатоступеневі комбіновані сепаратори, які можуть забезпечити високу ефективність сепарації (до 99%) а також велику продуктивність по газу. Були розроблені сепараційне устаткування від ShellGlobal Solution в різних конфігураціях, рис. 1.4.2) [27].

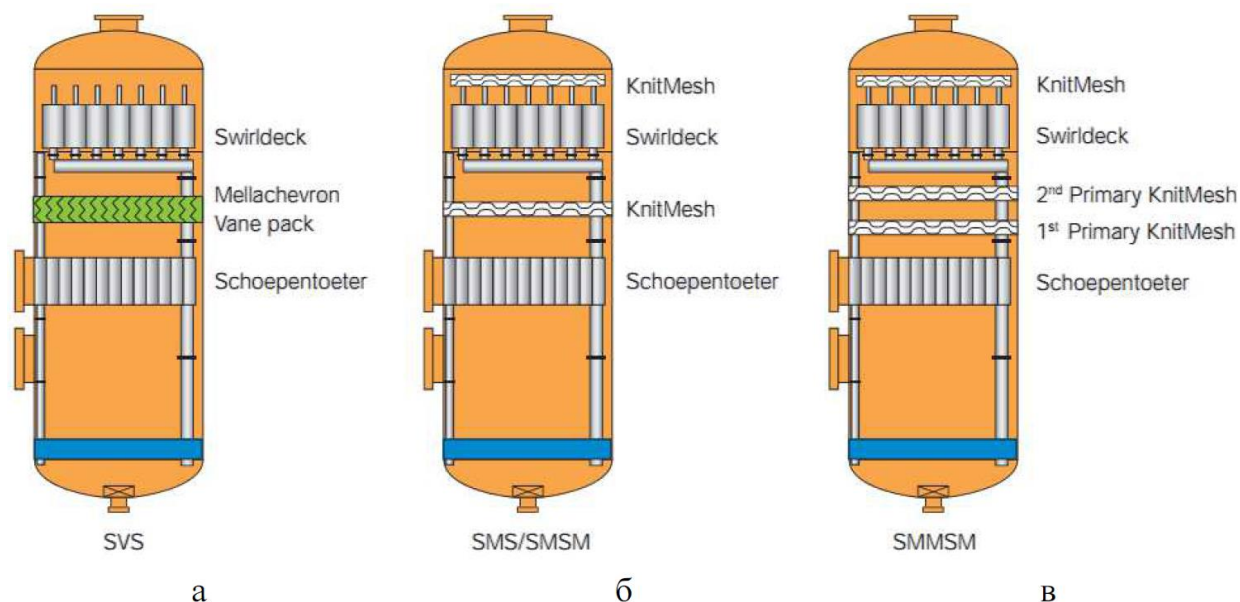
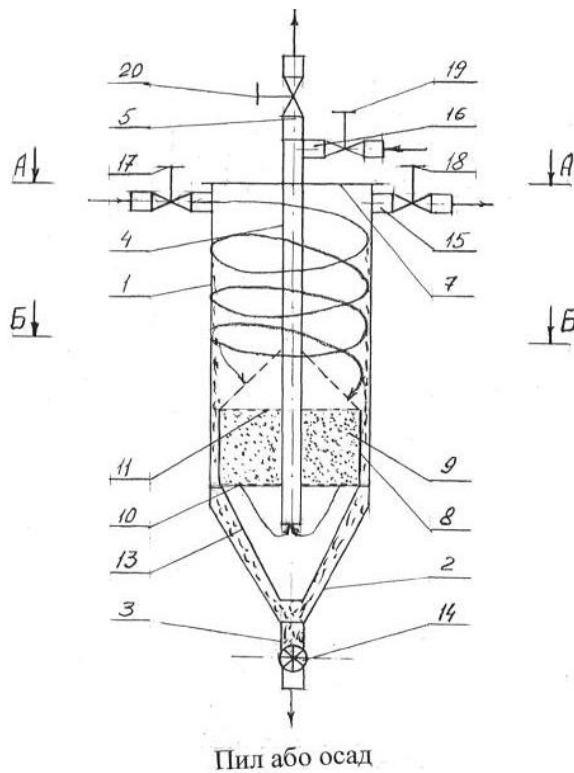


Рисунок 1.3.2– Високопродуктивні та високоефективні багатоступеневі комбіновані сепаратори.

Даний винахід (рисунок. 1.4.1)належить до галузі охорони навколишнього природного середовища, зокрема до циклон-фільтрів для відокремлювання завислих частинок від газів, оброблення промислових та побутових стічних вод [28].



1 – циліндричний корпус; 2 -конічним днищем; 3, 5, 6, 15, 16- штуцер;
 4 - вихлопну трубу; 7- кришка; 8 -стаціонарну фільтрувальну касету;
 9 -фільтрувальна зерниста засипка; 10 - нижньою сітчастою основою;
 11 -верхньою сітчастою кришкою; 12 - сітчастий конус; 13 -закритий конус;
 14 - шлюзовим затвором; 18, 19, 20 – вентиль; 21 -циліндричний канал; 22-ребра
 жорсткості

Рисунок. 1.3.3 – Циклон-фільтр

Циклон-фільтр відрізняється тим, що додатково містить стаціонарну фільтрувальну касету, з нижньою сітчастою основою і верхньою сітчастою кришкою, в якій розміщена насипна фільтрувальна зерниста засипка, зрізаний сітчастий конус, перевернутий закритий конус для проходження повітряного або водяного потоків, штуцер для видалення 15 забрудненого повітряного або водяного потоків [28].

Переваги: відокремлювання завислих частинок від газів, оброблення

промислових та побутових стічних вод.

Недоліки: необхідна велика кількість подачі живлення води.

Досліджено спосіб зменшення викидів пилу апаратом мокрого очищення з комбінованою схемою пиловловлювання [29]. Схему експериментальної установки представлено на (рис. 1.3.1.).

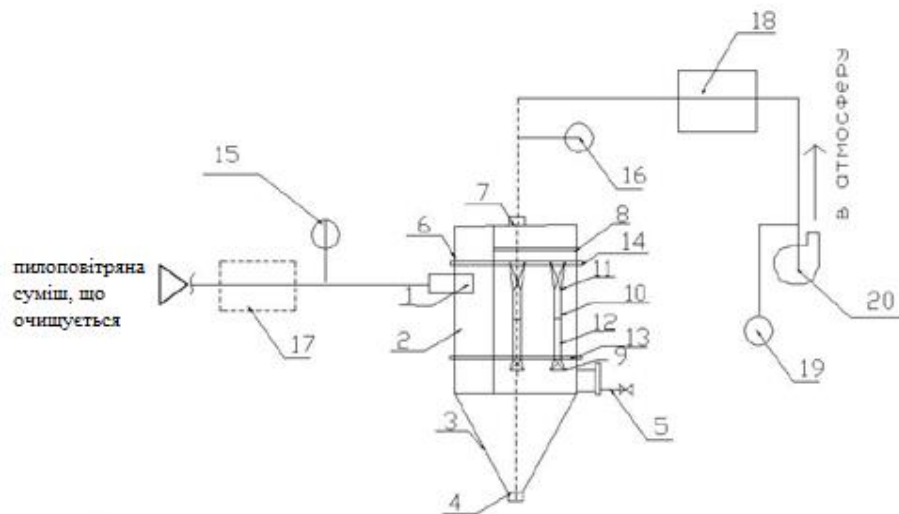
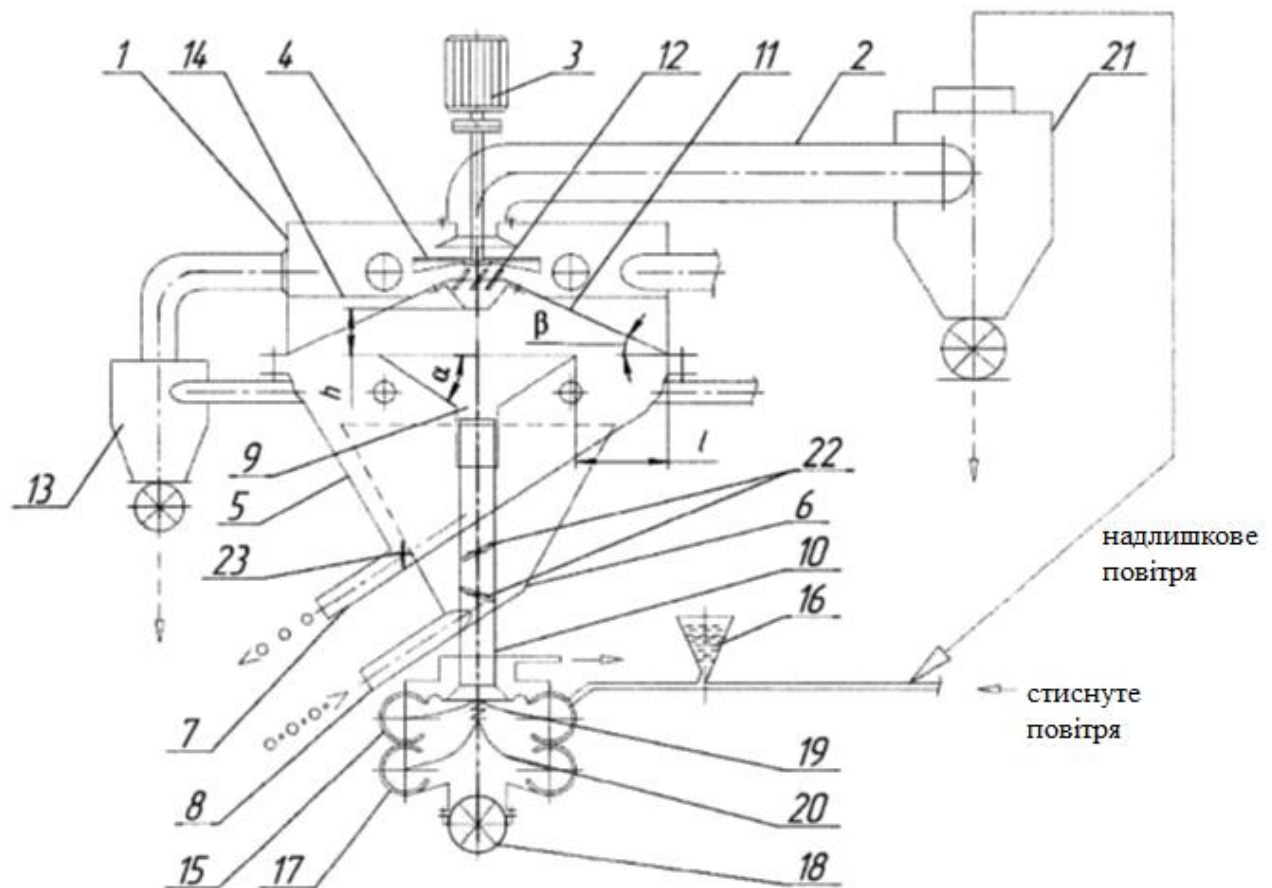


Рисунок 1.3.4 Схема експериментальної установки:

- 1 – патрубок входу; 2 – технологічний блок-модуль; 3 – блок-піддон з водою; 4 – патрубок сливу води; 5 – регулятор подачі і підтримки рівня рідини; 6 – сепараційний блок; 7 – патрубок виходу очищеного потоку газу; 8 – пластинчастий сепаратор; 9 – конфузори; 10 – контактні трубчасті камери; 11 – дифузори; 12 – насипне завантаження; 13, 14 – горизонтальні перегородки; 15, 16 – вимірювальний комплекс для визначення витрати і тиску; 17, 18 – вимірювальний комплекс для визначення концентрації; 19 – дистанційно-керований шибер; 20 – вентилятор

Наведена коротка характеристика технологічних процесів, апаратів і пов'язаних з ними основних джерел виділень і викидів забруднюючих речовин в атмосферу при виробництві керамзиту. Представлені дані промислового обстеження пиловловлюючих пристроїв ряду підприємств, які виробляють гранульований керамзит. Викладено основні результати дисперсійного аналізу

пилу, що виділяється в печах випалу. Обґрунтовано доцільність розробки нових більш ефективних конструкцій пиловловлювачів для знепилюючих систем аспірації. Проведено розробка і випробування пиловловлювача мокрого очищення, що забезпечує значне зниження коефіцієнта проскоку пилу керамзиту в атмосферу. Встановлено, що значення втрат тиску P в апараті і величини приведенного коефіцієнта місцевого опору та висоти рівня рідини в конфузурі залежить від зміни рівня заповнення апарату водою.



1 - корпус; 2, 7 – трубопровід; 3 – електропривід; 4 - вентилятор; 5, 6, 9 – конус;
8, 10, 23 – патрубок; 11 – купол; 12, 22 – засуви; 13 – виносні елементи; 14, 19,
20 – тарілка; 15, 17 – камера; 18 – шибер; 21 – циклон;

Рисунок. 1.3.5 – Повітряний сепаратор-гранулятор комбінованої дії

Винахід відноситься до техніки розділення тонкодисперсних матеріалів і

може бути використане в різних галузях промисловості будівельних матеріалів, а також гірничодобувної, енергетичної та інших промисловості [30].

Винахід направлено на підвищення ефективності класифікації та зниження енерговитрат за рахунок раціонального використання енергії повітряного потоку, вдосконалення способу відбору матеріалу з можливістю варіювання аеродинамічних характеристик сепаратора-гранулятора, а саме швидкості проходження газоматеріального потоку, гідравлічного опору. Це досягається тим, що повітряний сепаратор-гранулятор включає корпус з герметично встановленим зверху трубопроводом очищеного газу. На трубопроводі закріплений електропривод, на валу якого закріплено вентилятор. Під корпусом розміщені входять один в одного усічені конуси, більшими підставами вгору, які виконані під кутом до горизонталі. Верхній усічений конус меншою основою закріплений на вхідному в нього нижньому усіченому конусі, утворюючи жолобоподібний канал, що переходить в розвантажувальний патрубок, а нижній усічений конус містить тангенціально розташований завантажувальний патрубок. Усередині усічених конусів коаксіально розташований непроникний приймальний конус, звернений більшою основою вгору, а менша основа конуса з'єднана з центральним вивантажувальним патрубком і має можливість регулювання по висоті.

Переваги: зниження енерговитрат.

Недоліки: важкість створення робочого розчину.

В літературі показано різні способи очищення, способи мокрої газоочистки, також було вказано спосіб вловлювання частинок із подачею плівки води у апарат, але не наведено способів одночасного вловлювання високодисперсних твердих частинок та парів води для утворення суспензії з подальшою подачею її на рецикл, тому було запропоновано циклон який підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, що

складається з твердих частинок та водяної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті [3].

1.4 Висновки

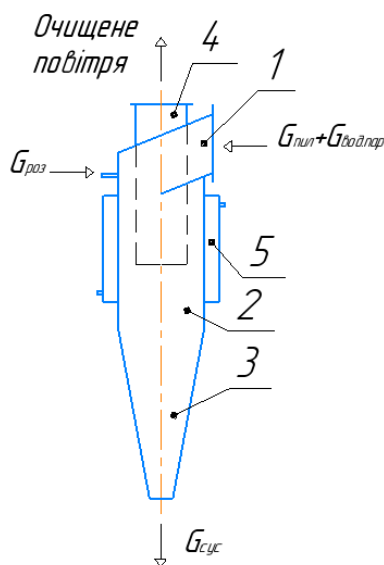
За результатами огляду джерел літератури було проаналізовано та встановлено рівень розвитку науки і техніки та основні напрями дослідження. Проведено літературний аналіз досліджень процесу, обладнання, конструкцій, дослідження властивостей утвореної суспензії, параметри, які впливають на процес. Розглянуто різні типи процесу вловлювання дрібних частинок.

2 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

2.1 Опис запропонованої конструкції циклону

Запропоновано нову конструкцію для процесу очистки сумішей із пилу, водяної пари та газу при отриманні гуміново-мінеральних композитів. Було отримано позитивне рішення запропонованої конструкції на одержання патенту на корисну модель України.

Суть корисної моделі пояснюється на рисунку 2.1.



1 – тангенціальний вхідний патрубок; 2 – корпус; 3 – конічна частина;

4 – осьовий вихідний патрубок; 5 - оболонь

Рисунок 2.1 – Схема циклонного апарату

В процесі роботи циклонного апарату композитне забруднення, що вміщує тверді частинки та водяну пару, проходить вхідним патрубком і закручується. Потік, що закручується надходить в область відділення, переміщається вниз, під

час цього на тверді частинки композитного забруднення діє відцентрова сила впродовж всього шляху руху частинок зверху вниз, так як радіус обертання потоку вкорочується. Водяна пара композитного забруднення конденсується, після зрошення водою з форсунок, встановлених патрубку для виходу повітря. Також, у охолоджуючу оболонку потрапляє охолоджуюча вода через вхідний патрубок та відводиться через вихідний патрубок. Очищене повітря надходить до осового вихідного патрубка та відводиться з циклону. Утворена суспензія надходить до бункера [3].

2.2 Фізична модель процесу вловлювання

Із збільшенням народонаселенням не земній кулі попит на продукцію сільського господарства ростиме.

При непередбаченому використанні ґрунтів вони піддаються ерозії. Разом з тим якість і кількість продукції неможливо забезпечити без застосування добрив. Тому виникає потреба у використанні добрив нового покоління.

Процес виготовлення мінеральних добрив доцільно проводити у грануляторі із псевдозрідженим шаром, так як у нього коефіцієнт використання телоти більше 50 %. У процесі грануляції утворюється суміш пилу та водяної пари, так як утворений пил може використовуватися у якості сировини він має велике значення і вловлення його є важливою задачею. Для цього ефективним є застосування системи вловлювання у полі відцентрових сил, використовуючи циклонний процес.

Фізична модель описує процес вловлювання високодисперсних твердих частинок (рисунок 2.2.1).

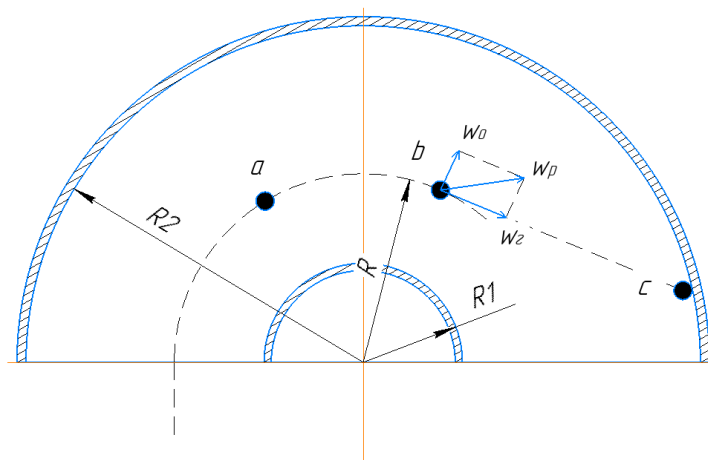


Рисунок 2.2.1—Схема осадження твердих частинок у в полі відцентрових сил
У сепараторі частинки умовно поділяються за розмірами кожному з яких відповідає певний радіус (рисунок 2.2.2).

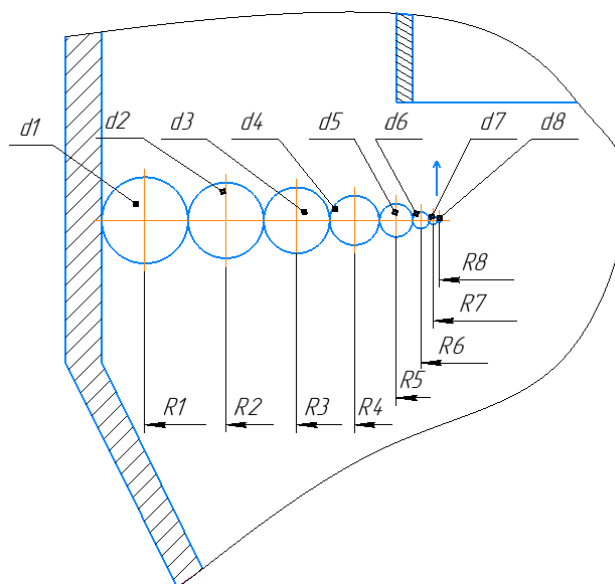


Рисунок 2.2.2—Схема розподілення твердих частинок у циклоні

Потік газу рухається по криволінійній траєкторії в каналі. Відцентрова сила, що діє на тверду частинку в точці b, спричинює швидкість осідання W_{ov} , перпендикулярно до радіусу – W_z , і, як наслідок, частинка рухається за криволінійною траєкторією зі швидкістю W_p [26].

Швидкість осадження в полі відцентрових сил розраховується за виразом:

$$w_{ov} = \frac{dr}{d\tau}; \quad (2.25)$$

час осадження:

$$\tau_{o_e} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{W_{o_e}} \quad (2.26)$$

Знаходимо відцентрову силу C за виразом:

$$C = \frac{mW_\Gamma^2}{R}, \quad (2.1)$$

де: R – радіус кривизни траєкторії в даній точці;

W_Γ – лінійна швидкість газового потоку;

m – маса твердої частинки.

Виразимо масу m , як:

$$m = C_1 l^3 r_m \quad (2.2)$$

Виконавши підстановку (2.28) до виразу (2.27), одержимо:

$$C = \frac{C_1 l^3 \rho_m W_\Gamma^2}{R}$$

Сила тяжіння визначиться:

$$G = C_1 l^3 r_m g$$

Фактор розділення:

$$\Phi p = \frac{C}{G} = \frac{C_1 l^3 \rho_m W_\Gamma^2}{R C_1 l^3 \rho_m g} = \frac{W_\Gamma^2}{R g} \quad (2.3)$$

В циклонах $C \gg G$, тому нехтуємо останньою, тоді частинка буде рухатися під дією відцентрової сили $F_{вц}$, дія якої спрямована на відкидання частинки до перефірії і сили опору повітря F_c , дія яких спрямована на відкидання частинки до вихідного патрубку.

Відповідно кожному розміру частинок відповідає певний радіус R при якому має місце рівновага:

$$F_{вц} = F_c \quad (2.4)$$

Відцентрова сила, що діє на частинку залежить від її маси, а остання в свою чергу залежить від розміру частинки, тобто на дрібну частинку може діяти

відцентрова сила, дії якої недостатньо для вловлювання і частинка виноситься у вихідний патрубок рисунок 2.2.2.

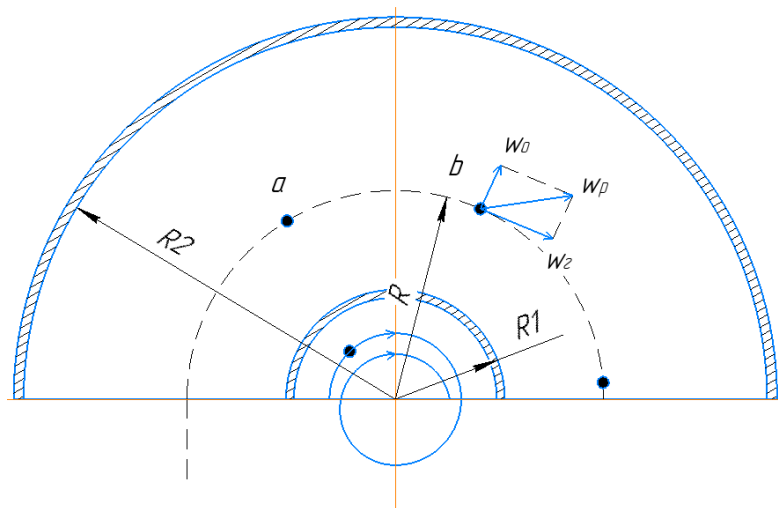


Рисунок 2.2.3 – Винесення дрібної частинки

При ламінарному русі швидкість осадження у відцентровому полі:

$$\omega_o = \frac{d^2 \cdot (\rho_T - \rho_p)}{18 \cdot \mu} \cdot \frac{\omega^2}{r}$$

Тому пропонується додатково вловлювати політанти із застосуванням локального зрошування. Подаючи робочий розчин розчин на стінки циклону утворюючи плівку, вода конденсується на поверхні плівки. При утворенні плівки частинки будуть дотикатися та осідати рисунок 2.2.3, а плівка разом із уловленими частинками рухатиметься донизу.

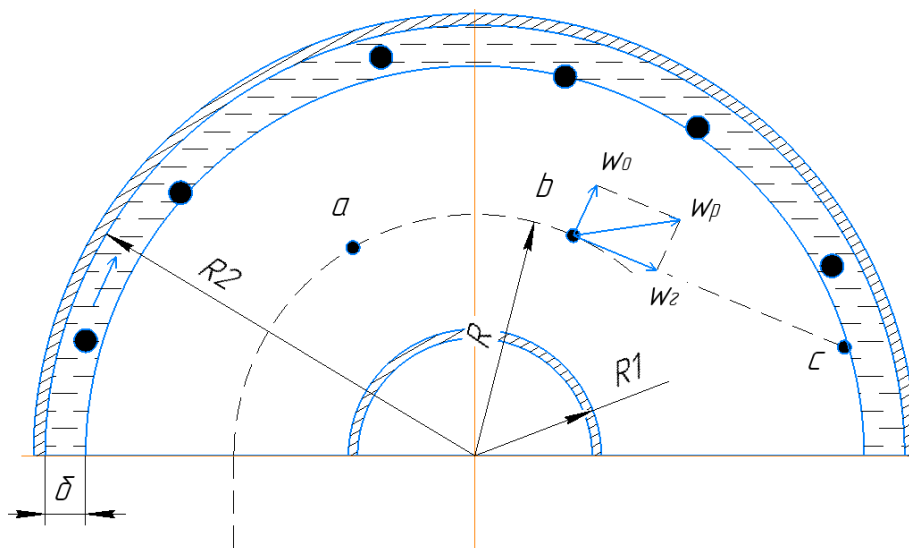


Рисунок 2.2.4 – Схема осадження твердих частинок у відцентровому сепараторі з утворенням плівки

Стікаючи, плівка відводить певний найбільший за розміром діапазон твердих частинок, перемішуючи їх, при цьому менші за розміром частинки рухаються до стінки, збільшуючи, таким чином ефективність вловлювання та ефективність вловлювання менших за розміром частинок зокрема рисунок 2.2.3.

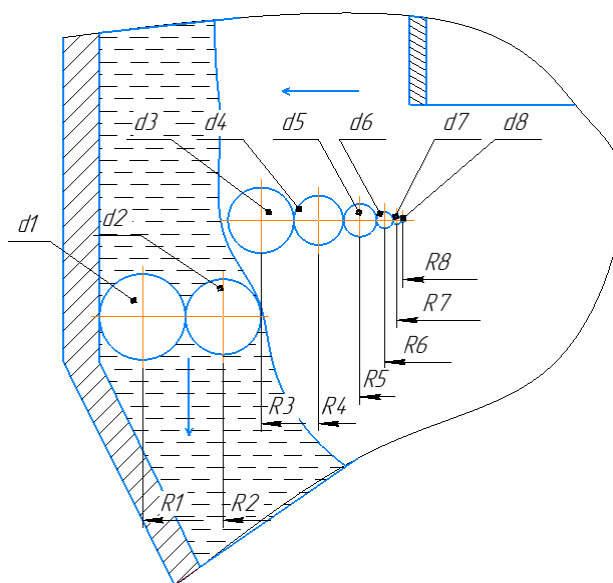


Рисунок 2.2.5–Схема розподілення твердих частинок у циклоні при стіканні плівки

Рух уловленої суспензії суттєво залежить від її теплофізичних властивостей, особливо від в'язкості та густини, які в свою чергу залежать від

внутрішнього тертя, яке проявляється при наявності відносного руху сусідніх шарів рідини і залежить від сил зчеплення між окремими молекулами.

Для належного руху суспензії по стінках циклону необхідно дослідити властивості руху суміші. Серед одних із найважливіших – в'язкість. По закону Ньютона сила внутрішнього тертя, тобто сила, яка проявляється при переміщенні одного шару рідини відносно іншого, прямо пропорційна відносній швидкості переміщення і величині поверхні дотику цих шарів.

2.3 Фізична модель процесу конденсації водяної пари з утворенням плівки

Фізична модель теплопровідності через плоску стінку описує процес конденсації водяної пари (рисунок 2.4.1).

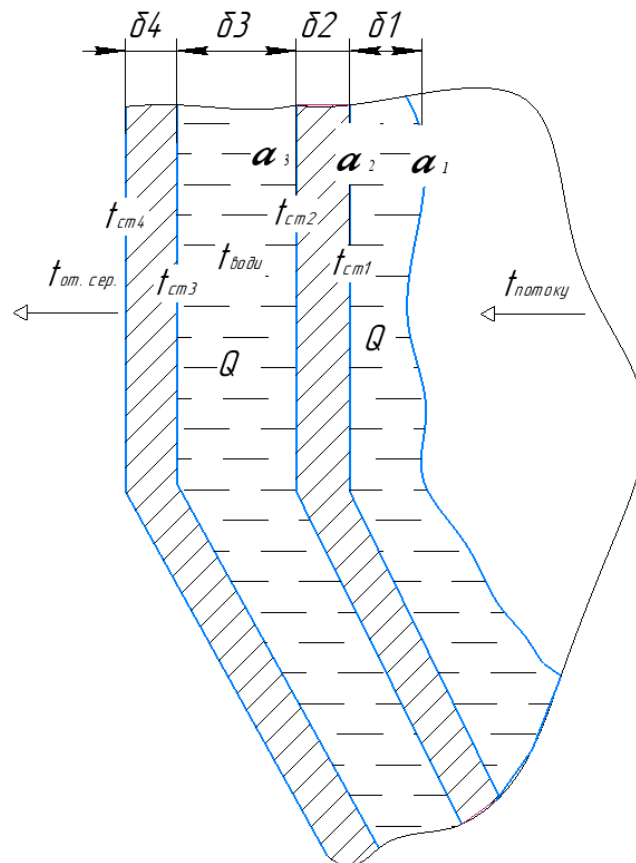


Рисунок 2.3.1 Утворення плівки в циклоні

Для того, щоб вловити пари води необхідно охолодити стінки циклону до температури точки роси. При досягненні точки роси вода конденсується на стінках циклону, утворюючи суспензію в сукупності із пилом. Тобто необхідно відвести певну кількість енергії Q_p , щоб сконденсувати задану кількість водяної пари G_v . Кількість утвореного пилу буде:

$$G_{1n} = G_2 - G_2 \cdot \psi \quad (4.14)$$

Враховуючи продуктивність гранулятора G_2 та коефіцієнт гранулоутворення ψ , кг/с:

Коефіцієнт вловлювання становить $\varphi = 93-95\%$, тоді кількість вловленого пилу [43]:

$$G_{2n} = G_{1n} \cdot \varphi$$

Приймаємо кількість води яку потрібно сконденсувати 70% у зв'язку з тим, що всередині апарату волога буде випаровуватися, тоді кількість води, яку необхідно сконденсувати:

$$G_{16} = \frac{G_{2n} \cdot 70}{30}$$

Кількість енергії, щоб сконденсувати задану кількість водяної пари G_{16} , буде становити:

$$Q_p = r \cdot G_{16}$$

Динаміка суспензії, що була вловлена, значно залежить від її теплофізичних властивостей, особливо від в'язкості та густини, які в свою чергу залежать від внутрішнього тертя, яке проявляється при наявності відносного руху сусідніх шарів рідини і залежить від сил зчеплення між окремими молекулами. Тому необхідно визначити в'язкість даної суспензії.

При конденсації води із газового потоку утворюється плівка. На межах плівки температури рівні температурам середовищ з якими вона контактує.

2.4 Математична модель процесу охолодження водяної пари, що контактує з плівкою

Для конденсації парів води з поверхні апарату необхідно відвести залишкову енергію, цей процес описується наступним рівнянням:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} \right)$$

де $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ - коефіцієнт теплопроводності.

Тепловий потік матиме вигляд:

$$q_{cm} = \left(\frac{\delta}{\lambda} \right) (\theta_{нов} - \theta_{cm})$$

$$q_{nl} = \alpha (\theta_{нов} - \theta_{cm})$$

$$q = \Delta t \cdot K$$

Вважатимемо тепловий потік сталою величиною, тоді:

$$q = const$$

Початкові умови: $t_1 = 20^\circ \text{C}$, $t_2 = 95^\circ \text{C}$;

$$\text{Граничні умови: } \lambda_{cm} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} = \lambda_{nl} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r}; \lambda_{nl} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} = \alpha \cdot (\Theta - \Theta_{нов}).$$

Для розв'язання рівняння треба знайти товщину плівки, а для цього необхідно визначити в'язкість суспензії, що утворюється.

Систему рівнянь вирішуємо методом скінчених різниць [31]. Блок-схема, код програми, та таблиця із результатами розрахунку (таблиця А.1) розміщені у додатку А.

Висновок: у даному розділі представлена фізична та математична моделі процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок.

2.5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Потрібно розробити нешкідливі і безпечні умови експлуатації нових машин, механізмів та обладнання обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками.

Охорона праці і оточуючого середовища включає в себе питання безпеки праці, усунення причин травматизму і попередження професійних захворювань, аварійних ситуацій на виробництві; правової охорони праці. Необхідно розробити безпечні і нешкідливі умови для обслуговуючого персоналу. Виконання правил техніки безпеки є основною умовою зниження виробничого травматизму. Усі працівники повинні бути ознайомлені з правилами і інструкціями з техніки безпеки і виробничої санітарії.

Темою магістерської дисертації є «Моделювання процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок».

При експлуатації обладнання працює оператор, площа приміщення $S = 50\text{ м}^2$, об'єм: $V = 150\text{ м}^3$. У приміщенні де перебуває дане обладнання сухо, нормальна температура і вологість повітря. Згідно [34] воно відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. При обслуговуванні лінії можуть виникнути наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони (теплове випромінювання тощо);
- електробезпека;
- вплив механізмів, які рухаються і обертаються;
- теплове випромінювання;
- виробничий шум та вібрації;
- виробниче освітлення;
- надзвичайні ситуації для ремонтних або аварійних робіт;
- пожежна безпека.

2.5.1 Повітря робочої зони

Вентиляцію доцільно враховувати для забезпечення граничних метеорологічних умов і чистоти повітря в обслуговуваній ними робочій зоні приміщення (на постійному або не постійних робочих місцях). Кондиціонування має передбачатися як забезпечення стандартів чистоти та метеорологічних умов у робочій області приміщень або частин приміщень, які вони обслужують. Клас другий – забезпечити метеорологічні умови в границях оптимальних норм або що вимагає технологічного процесу.

Метеоумови в робочій зоні в холодний період року, коли використовуються батареї, складає: 20-23°C – оптимальна і 19-21°C – фактична, а в теплий період: 22-25°C та

21-23°C відповідно. Відносна вологість складає 40-60%. Швидкість руху повітря – 0,2 м/с.

Під час роботи лінії пил, тобто сульфат амонію, випускається з відкритих контейнерів шляхом вильоту (недоліки устаткування- ємність для наповнення). Концентрація пилу в повітрі завдяки місцевій вентиляції не перевищує ГДК 6 мг/м³. Ці параметри відповідають ДСН 3.3.6.042-99. Фактичні концентрації згідно ГОСТ12.1.005-88/98 становить 1,1-3,03 мг/м³.

В якості штучної місцевої вентиляції використовуємо витяжний зонт.

Продуктивна діяльність парасольки можлива, якщо обсяг, що протікає через повітряний потік, менший за об'єм всмоктування повітря. Аби вихопити пил над наповнювачем, встановіть витяжний капот. Характерним для нього є те, що простір між джерелом і приймачем захищений від довколишнього середовища.

Так як величина входу зонта більше, аніж величина осередку. Тоді для надійності парасольки потрібно, аби вертикальний шлях від краю парасольки до

верхнього краю кришки для утворення шкідливих речовин було щонайменшим.

Обрахунок таких параметрів наведено нижче. Виявляємо розміри зонта:

- висота підвісу зонта H приймається в границях $1,6 \div 1,8$ м:

$$H = 1,6 \text{ м,}$$

- розміри прямокутного зонта в плані визначаємо з виразу:

$$A = a + 0,8h = 0,4 + 0,8 * 1 = 1,2 \text{ м}$$

$$B = b + 0,8h = 0,4 + 0,8 * 1 = 1,2 \text{ м}$$

де $a = b = 0,4$ – сторони поверхні, що перекривається, м;

$h = 1$ – шлях від пазу зонта до поверхні, що перекривається, м.

Кут закриття зонта φ повинні приймати не більше 60° (у такому випадку осьова швидкість в перерізі зонта наближена до середньої по усьому перерізу зонта).

Повна висота зонта:

$$h_3 = \frac{A-D}{2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + h_6 = \frac{1,2-0,3}{2 \operatorname{tg} \frac{60}{2}} + 0,2 = 0,97 \text{ м}$$

де $D = 0,3$ м – діаметр витяжної труби;

$h_6 = 0,2$ м – висота борту;

приймаємо $h_3 = 1$ м.

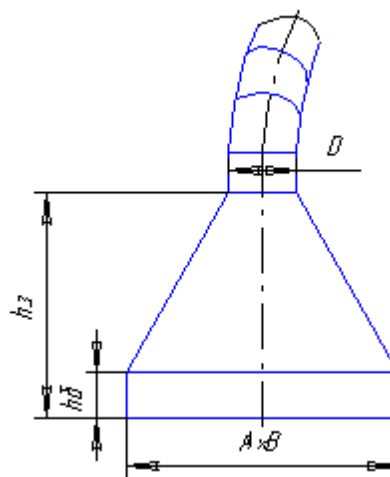


Рисунок 3.1 – Схема зонта

Об'єм повітря, що виходить за допомогою витяжної труби від зонтів:

$$J_3 = 3600 F V_0 = 3600 \cdot 1,44 \cdot 0,5 = 2592 \text{ м}^3/\text{год},$$

$$J_3 = 3600 F V_0 = 3600 \cdot 1,44 \cdot 0,5 = 2592 \text{ м}^3/\text{год}$$

де F – площа розрахункового перерізу, м^2 :

$$F = AB = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ м}^2$$

$V_0 = 0,5 \text{ м/с}$ – середня швидкість в розрахунковому перерізі зонта.

Утрати тиску у вентиляційній системі $P = 55 \text{ Па}$.

Вибираємо вентилятор SBV 60-30/28-6D: продуктивністю $J_B = 2576 \text{ м}^3/\text{год}$, розвинутий повний тиск $P_B = 225 \text{ Па}$, кількість обертів колеса $n = 780 \text{ об/хв}$, напруга електродвигуна $380/3 \text{ В/фази}$, електрична потужність $3,7 \text{ кВт}$, номінальний пусковий струм $0,75/3 \text{ А}$, ККД $\eta = 0,42$. Вибір електродвигуна.

Для знаходження потужності N електродвигуна треба розраховувати з коефіцієнтом запасу $1,5$.

На валу потрібна потужність електродвигуна знаходиться за такою формулою:

$$N = \frac{J_B H_B}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_n} \cdot 1,5 = \frac{2576 \cdot 65}{3600 \cdot 102 \cdot 0,42 \cdot 0,7} \cdot 1,5 = 2,6 \text{ кВт}$$

де $J_B = 2576 \text{ м}^3/\text{г}$ – продуктивність вентилятору;

$H_B = 225 \text{ Па}$ – створений вентилятором тиск;

$\eta_B = 0,42$ – КПД вентилятора;

$\eta_n = 0,7$ – КПД передачі.

Обираємо електродвигун потужністю $N = 2,6 \text{ кВт}$ із кількістю обертів $n = 930 \text{ об/хв}$.

Температура повітря в холодну пору року збільшується в приміщеннях батареями з теплоносіями води, яка нагріта до температури $50 \div 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вологість та швидкість руху повітря забезпечується штучною вентиляцією.

Враховуючи те, що в теплий період року природне провітрювання втрачає свою ефективність, ще застосовуються штучні: загальна припливна та

комбінована – місцева витяжна разом з загальною припливною, у подібі зонта, вентиляції ДСН 3.3.6.042-99.

Ефективність роботи вентиляційної системи відповідає вимогам [35].

2.5.1.1 Небезпека впливу елементів устаткування, нагрітого до високих температур

Як наслідок, травма може бути викликана дотиком людини до нагрітих поверхонь. Для уникнення подібних травм, ці поверхні покриваються шаром ізоляції (5 см) з мінеральної вати марка 300 ГОСТ 4640-76 [37]. В установці небезпечними частинами є:

- поверхня тіла робочої камери;
- поверхня приводу компресора.

Температура ізоляції ззовні не перевищує 45 °С що відповідає СН 245–71. Теплове випромінювання являє $q = 200 \text{ Вт/м}^2$. Величина температури поверхні теплоізоляції контролюється градусником за [38].

2.5.2 Небезпека ураження електричним струмом

Обладнання тієї лінії, що знаходиться у процесі експлуатації, буде перебувати в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна.

Для живлення елементів обладнання використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю.

Ураження електричним струмом персоналу, що обслуговує, можуть бути такі причини:

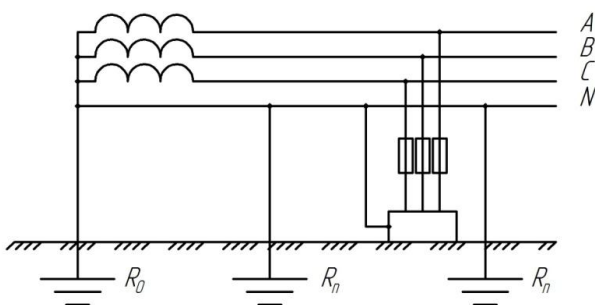
- помилкове включення установки;

- замикання на корпусі;
- випадки дотику людей до оголених частин, що проводять електричний струм, електроустаткування;
- старіння ізоляції і, як наслідок, утрата ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть бути під напругою у моменті короткого замикання.

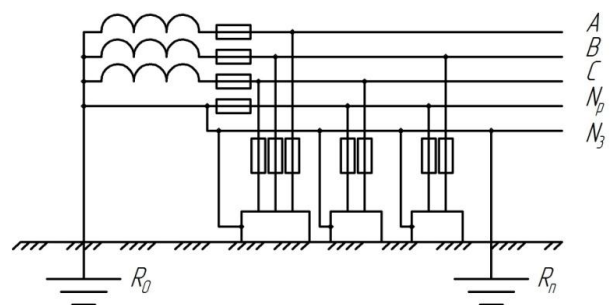
Стан електроізоляції характеризується такими параметрами: електричною міцністю, електричним опором і діелектричними втратами. Електрична міцність ізоляції визначається випробуванням високої напруги, електричним опором вимірювань та діелектричними втратами за допомогою спеціальних випробувань.

Для забезпечення електробезпеки передбачені організаційні і технічні заходи:

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- установлення плакатів і знаків безпеки (на небезпечних місцях – джерелах живлення, на регуляторах, і т. ін.);
- захисне відключення;
- ізоляція частин, що проводять струм має бути $R \geq 0,5 \text{ МОм}$;
- встановлення блокувань та сигналізації для попереджування.
- використання електрозахисних засобів, це такі, як: діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими ручками, покажчики напруги;
- захисне занулення;



а – із суміщеним нульовим провідником



б – з нульовим робочим і

Рисунок 3.2 – Схеми занулення електричного устаткування в 3-х фазних мережах

В аварійному режимі застосовується електромагнітний замок. Електромагнітне блокування дає змогу обійти можливість небезпечних обставин: увімкнути або вимкнути роз'єднувач під навантаженням, увімкнути заземлювальні ножі на частині лінії під навантаженням, нанести навантаження на заземлену частину лінії. Такий замок виготовляється за допомогою однакових електромагнітних замків та одного електромагнітного ключа.

Правила до занулення полягають у наступному: обнулюючі провідники мають вибиратися так, аби струм короткого замикання відбувався на запірному пристрої до корпусу чи до нейтрального захисного провідника. Під час захисту мережі автоматичними вимикачами з електромагнітними розчеплювачами провідність має забезпечувати струм не менше установки струму миттєвого спрацювання, помножений на коефіцієнт розкиду (по заводських даних) і на коефіцієнт запасу, що дорівнює 1,1; при відсутності заводських даних для автоматичних вимикачів з номінальним струмом до 100А кратність струму короткого замикання відносно установки потрібно приймати не нижче 1,4, а з струмом 100А – не нижче 1,25 за ГОСТ 12.1.030-82/86.

2.5.3 Виробничий шум та вібрації

Джерелом появи шуму є робота компресора та вентиляторів. У джерелі рівень шуму сягає 100–105 дБА, сумарний шум 66 дБА. Величина загальної технологічної вібрації на незмінних місцях праці при працюючій установці у виробничих приміщеннях не повинна перевищувати норм.

Джерела шуму та вібрації на виробництві:

- привід гранулятора;

- мішалка;
- вентилятори;
- насоси.

Як наслідок, шум протягом деякого часу можливо запустить чи назавжди пригнітить процеси психіки. Фізіологічні та біологічні результати можуть поставати у формі погіршення роботи слуху та інших аналізаторів, наприклад координуючої функції кори головного мозку, нервової системи, систем травлення і кровообігу, вестибулярного апарату.

Визначено, що утрата слуху уже настає при впливі шуму в межах частот 3000 – 6000 Гц, а погіршення розбірливості мови - при частотах 1000 – 2000 Гц. Найбільша імовірність втрати слуху впродовж перших десяти років роботи і з перебігом часу ця небезпека збільшується.

Випадкові та імпульсні шуми можуть привести до переляку та неадекватної поведінки. Стабільний шум може погано впливати на сенсорні роботи вкорочуючи, наприклад, швидкість руху очей, зменшення поля зору, викликаючи зміну кольорового сприйняття, порушення рівноваги, втрату больової чутливості.

Особисті властивості людини, пов'язані із всілякими психологічними реакціями на дію шуму значно діють на його сприймання. Шум не тільки псує самопочуття людини і зменшує продуктивність роботи на 10- 15%, та все ж часто викликає професійні хвороби. Матеріальні втрати через ці захворювання набагато більші, аніж через інші. У зв'язку із подібним боротьба з шумом має не лише санітарно - гігієнічне, а й велике техніко - економічне значення. Тому необхідно розробити комплекс інженерно - технічних та організаційних заходів для зменшення шуму до значень передбачених нормативами.

Величина звукового тиску (дБ) в октавних смугах частот, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку (дБА) для постійних робочих місць при працюючій установці, встановлені за ДСН 3.3.6.037-99. В осередку де утворюється шум

звуковий тиск перевищує критично допустимий 66 – 67 дБА, того для забезпечення безпеки персоналу при роботі устаткування від підвищених шумів застосовуються навушники.

Відповідно ДСН 3.3.6.037–99 ступінь шуму не має бути більше 66 дБА.

Як індивідуальні способи для охорони від шуму прийнято протишумові навушники ПШН-Б (ГОСТ 12.4.051.87), виробництва КП «Київський виробничий комбінат ТСО України». Призначені для захисту органів слуху від дії середньо- та високочастотного шуму з рівнем до 115 дБА.

Використання для акустичної обробки цеху звукопоглинальних плит забезпечує зниження рівнів відбитого звуку, а рівні звукового тиску в контрольній точці не перевищують допустимих величин, тобто 65 дБА і відповідає ДСН 3.3.6.037–99 [40].

Протишумові навушники (рис. 3.8.3) складаються з наголовка (пружина) і навушників. Призначені для захисту органів слуху від дії середньої- та високочастотного шуму з рівнем до 115 дБА.

Корпус протишумів виготовлено з полістиролу.

Ущільнюючі прокладки виконано з поролону і плівки ПВХ пластифікованої.

Зусилля притискання регулюється згинанням і розгинанням наголовника, виготовленого з пружної сталевий стрічки.

Вибираємо навушники середньометричної частоти октавних смуг 250 Гц і їх ефективність послаблення шуму складає 10 дБ.



Рисунок 3.8.3 – Протишумові навушники

2.5.4 Вплив механізмів, які рухаються і обертаються

Механізми, що обертаються в лінії: вал і елементи насосів, вентилятори. Ці механізми є небезпечними, оскільки це може спричинити механічні пошкодження людини, тому в кожному випадку частини або компоненти закриваються оббиттям, яке в повній мірі відвертає можливі механічні пошкодження. Кнопка аварійного вимкнення, що знаходиться у кімнаті оператора, передбачена для аварійної зупинки лінії.

2.5.5 Надзвичайні ситуації для ремонтних або аварійних робіт

Така ємність як балон призначена щоб утримувати, перевозити і використовувати під великим тиском (O_2 , N_2), зріджені (NH_3) або розчинені (ацетилен) гази, які перебувають під натиском більшим 0,7 атм.

Забезпечення безпечної експлуатації балону:

- відповідна міцність балону та відповідним контролюванням його характеристик;
- уникнення хибного наповнення балону не тими газами;
- правильно транспортувати, заповнювати, зберігати та вживати балон.

Потрібен періодичний огляд для забезпечення механічної міцності циліндрів та їх якісного виготовлення. Коли газ стиснутий, зріджений та розчинений то балони зварюються де P сягає 30 бар або виготовляють безшовними. При використанні балонів вони перевіряються зсередини (за можливості) і ззовні, вага, міцність та перевіряються гідравлічним випробовуванням. Для запобігання корозії, тріщин, вм'ятин чи певних інших пошкоджень здійснюється огляд для можливості подальшої експлуатації, але при невідповідних характеристиках щодо огляду то визначається брак.

Навантаження балонів випробувального випромінювання та тривалість цього навантаження встановлюються відповідно.

Перевіряють балони підприємства-заповнювачі, АЗС та контрольно-пропускні пункти при наявності дозволу на це. Потім сфероподібна частина кулі штампована визначається час наступної перевірки. Відмітний колір та маркування циліндрів надається для того, щоб помилково не наповнити балони іншими газами.

Експлуатувати, транспортувати та зберігати циліндри на виробництві повинно здійснюватися відповідно вимогам інструкцій, затверджених у встановленій послідовності. Обслуговуючий персонал має навчатися та проходити інструктаж.

Розраховувати треба так, щоб напруга в стінках за гідравлічного випробування не перевищувала 90% межі текучості для даної марки сталі.

Вимоги до сталюого балону малого і середнього об'єму на робочий тиск менше 19,6 МПа регламентується ГОСТ949-73, а до сталюих балонів більшого об'єму для газів на тиск менше 25 МПа ГОСТ 9731-79.

На поверхні кожного балону повинно бути нанесено клеймо з наступними даними: товарний знак, номер балону, дати виготовлення, рік випробування, вид термообробки, робочий тиск, об'єм балону, маса балону.

Захист органів дихання

Повітряний апарат МПА (Рис. 3.8.5) захищає дихальні органи та зорові.



Рисунок 3.8.5 – Повітряний апарат МПА

Балон типу МПА-4х20 має наступні характеристики: місткість балону 4 літри, тиск у балоні 20 МПа, номінальний ЧЗД 24 хв, габаритні розміри балону складають 700х220х170 мм, маса складає 7,2 кг.

2.5.6 Пожежна безпека та надзвичайні ситуації

У процесі виробництва використовується сульфат амонію, що горить температура займання якого 350-380 °С. Матеріал установки: сталь.

Виходячи з цього, виробництво за пожежонебезпечністю віднесено до категорії В.

Вогнестійкість приміщення відповідає ступеню вогнестійкості П-Па.

Із наслідків, які викликають займання, максимально ймовірні це:

- несправна робота електрообладнання;
- займання ізоляції електропроводки;
- застосовування полум'я в невідповідному місці.
- навантаження кабелів живлення і струми короткого замикання;

Засоби запобігання виникненню пожежі:

- дотримання правил використання та технологічних норм;
- куріння лише у відповідних місцях;
- поміж обслуговуючого персоналу вчасно проведений інструктаж за технікою безпеки;
- обмежене застосування полум'я;
- наявність пристроїв пожежогасіння у прямій близькості коло установки (вогнегасник, ємність з піском).
- наявність сигналізуючих пристроїв, наприклад, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;

При запаленні автоматизованої системи необхідно спочатку вимкнути систему живлення, ви можете гасити вогонь, якщо його неможливо вимкнути, то електрообладнання може погаситись лише з вуглекислими вогнегасниками або порошковими вогнегасниками (рисунок 3.4). Щоб погасити пожежу із відключеним електроустаткуванням є мережа автоматичної пожежної сигналізації і способів оперативного зв'язку з пожежною службою. В кімнаті є два евакуиходи. Цех – це приміщення, що перебуває на 1 поверсі. Відстань шляхів евакуації не менше одного метру, а дверей на шляху евакуації – не менше 0,8 м. Пристрої пожежогасіння справні та розміщатися у легко доступних місцях. Аварійний резерв спецодягу та протипогазів знаходиться в відповідному місці відповідно до [28].

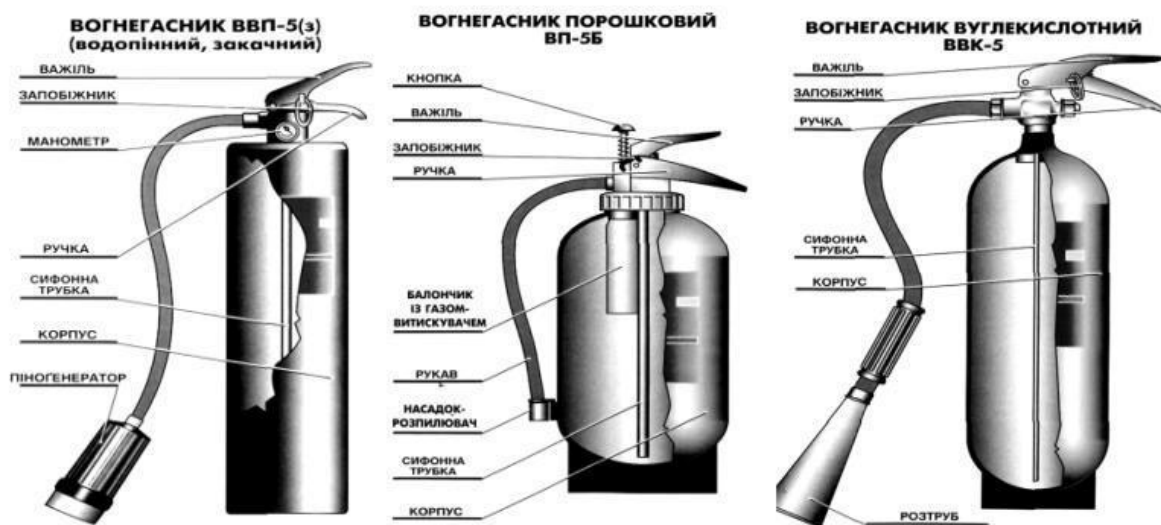


Рисунок 3.5 – Вогнегасники ВВП–5, ВП–5Б, ВВК–5

Для стаціонарного пожежогасіння використовують порошкові вогнегасники ВП–5Б, кількістю 5 шт., кожний з яких накриває площу в 12 м². Автоматична активація стається при $t = 72\text{ }^{\circ}\text{C}$ (через 20–25 хв після старту займання).

Автоматичне ввімкнення аварійної вентиляції при задимленні потужністю 8V (м³) приміщень. План евакуації приміщення зображено на рисунку 3.6.

В установках пожаротушения порошкообразных закачаных принцип дії закачаных порошкообразных такой самый як і в вогнегасниках теплового замка, що дозволяє використовувати САМ-3, САМ-6, САМ-9 для протипожежного захисту об'єктів без участі людини для погашення пожеги: класу А(горіння твердих речовин), класу В(горіння рідких речовин), класу С(горіння газоподібних речовин) згідно ГОСТ 27331-87, а також електроустановок, кабельних тунелів під напругою до 1000В. Установки можуть прийматися в якості автономного засобу пожаротушення для захисту невеликих по об'єму об'єктів(гаражних боксів, контейнерів і так далі).

Установки виготовляються в кліматичних виконанні У категорії розміщення 3 по ГОСТ 15 150 для роботи при температурі від -20 до +50 С при вологості повітря до 95%.

Вибираємо установку пожаротушения порошковой САМ-3 (Рис. 3.5). Місткість корпусу складає 4,5 літри. Маса вогнегасника становить 3 кілограми. Продовження дії вогнегасника становить 330 секунд. Діапазон температур використання вогнегасника складає від 253 до 323 К. Робочий тиск 1,4 МПа. Робоче повітря газ або повітря. Температура руйнування теплового замка складає 72 С. Захищений об'єм складає 7 м³. Захищена площа 4 м². Строк служби складає 10 років. Габаритні розміри 250х270 мм. Маса повна вогнегасника 5,8 кг.



Рисунок 3.5 – вогнегасник САМ-3

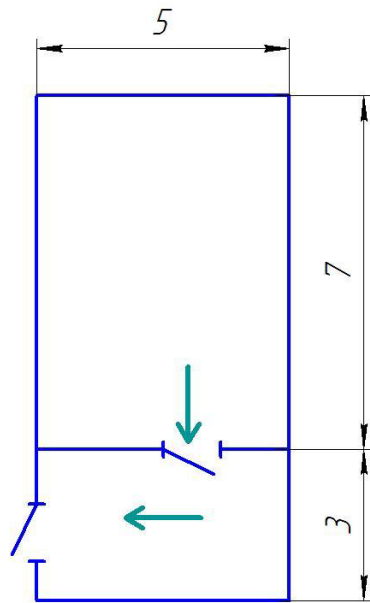


Рисунок 3.6 – План евакуації приміщення

2.6 Висновки

Обґрунтовано фізичну та математичну моделі процесу вловлювання високодисперсних частинок. Визначено параметри, що впливають на проведення процесу вловлювання. Необхідно проводити процес при температурі нижче температури кипіння води при нормальних умовах.

Розроблено та уточнено математичну модель процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок. Проведено розрахунки математичної моделі процесу вловлювання в програмному середовищі python, та розв'язку математичної моделі.

Запропоновано новий метод – подавати на зрошення циклону робочий розчин та створити замкнену систему.

Розробленні чисельні експерименти, щодо проведення процесу вловлювання.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ

3.1 Визначення реологічних параметрів рідкої фази при різних концентраціях твердих частинок

Для визначення необхідної кількості перенесення теплової енергії треба знайти товщину плівки, а для цього необхідно визначити в'язкість суспензії, що утворюється.

Визначено залежність в'язкості від швидкості зсуву при 20, 35 та 50 мас.% води та встановлено реологічні рівняння рис. 3.1.1

Реологічні характеристики розчинів полімерів досліджуються на ротаційному віскозиметрі типу РВ-8 у діапазоні швидкостей зсуву $j=2...300\text{с}^{-1}$ [32].

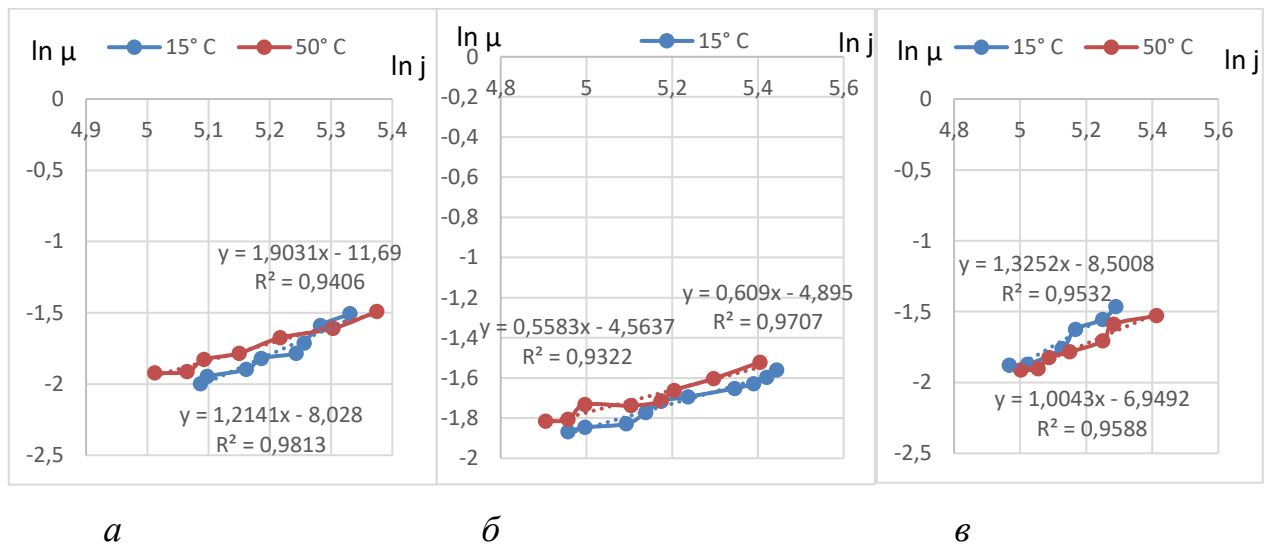


Рисунок - 3.1.1 Визначено залежність в'язкості від швидкості зсуву: *a* –при 20% води $\tau = 0,162 \cdot j^{0,609} \cdot e^{\frac{0,416 \cdot (T-288)}{288-273}}$; *б* – при 35% води $\tau = 0,146 \cdot j^{1,21} \cdot e^{\frac{0,644 \cdot (T-288)}{288-273}}$; *в* –при 50% води $\tau = 0,147 \cdot j^{1,004} \cdot e^{\frac{-0,275 \cdot (T-288)}{288-273}}$;

Моделювання (чисельний експеримент) методами обчислювальної гідродинаміки складається з послідовних етапів, які виконуються з використанням окремих об'єднаних модулів спеціального програмного забезпечення (ANSYS CFX та Fluent, COMSOL Multiphysics, Flowvision, SolidWorks Flow Simulation та інші).

В даному випадку проведено симуляцію процесу вловлювання в циклоні у програмі SolidWorks рис.3.1.2.

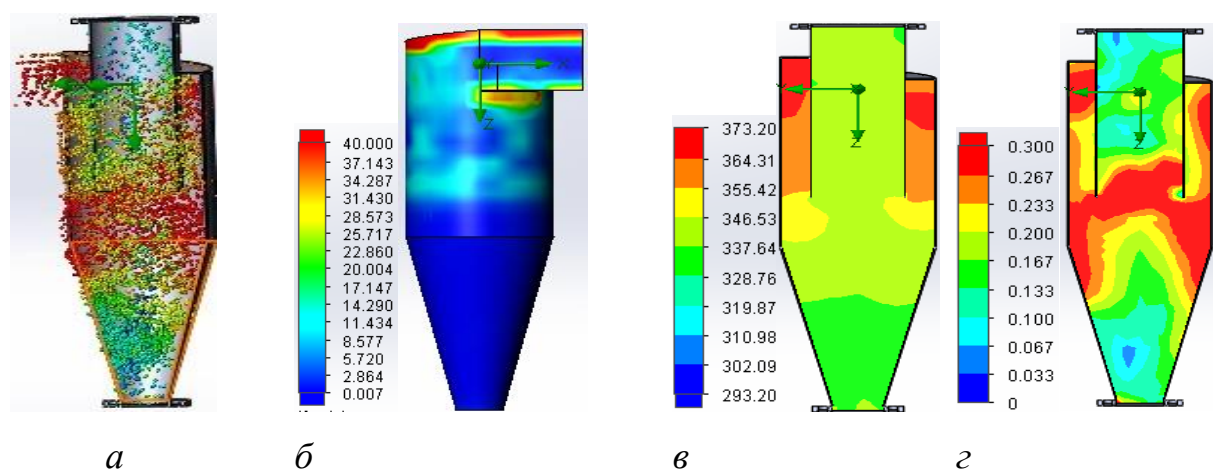


Рисунок - 3.1.2 Визначено: *а* –траєкторію потоку; *б* –коефіцієнт тепловіддачі; Вт/(м²К); *в* – температурний розподіл; К; *г* – розподіл швидкостей, м/с

Основними методами дисперсного аналізу є методи прямого спостереження (мікроскопія), седиментації, хроматографії, оптичні (світлорозсіювання), ситового аналізу та інші. Було застосовано метод прямого спостереження мікроскопію.

Відібрано проби пилу рис. 3.1.3 та створено модельний розчин з твердої фази (сульфату амонію, карбонату та гуматів) і води у наступних пропорціях:80:20, 35:65, 50:50 мас.%; при температурах 15 °С і 50 °С. На рисунку помітно, що пил злипається та утворює таким чином згусток великого розміру, це тому, що пил гідрофільний та при потраплянні на нього вологи коагулює. У

сухому стані він легко розноситься повітрям.

В процесі відбору проб пилу, що вловлено в циклоні та проведено визначення фракційного складу. Пил складається з солей сульфату амонію, карбонату та аморфних добавок гуматів рис. 3.1.4. Після визначення кількості та розмірів частинок отримано осередженні результати, що зображені на рис. 3.1.5

З рис. 3.1.5 фракційного складу пилу видно, що графік відповідає принципу біноміального розподілу.



Рисунок - 3.1.3 Відібрано проби пилу, що вловлено в циклоні

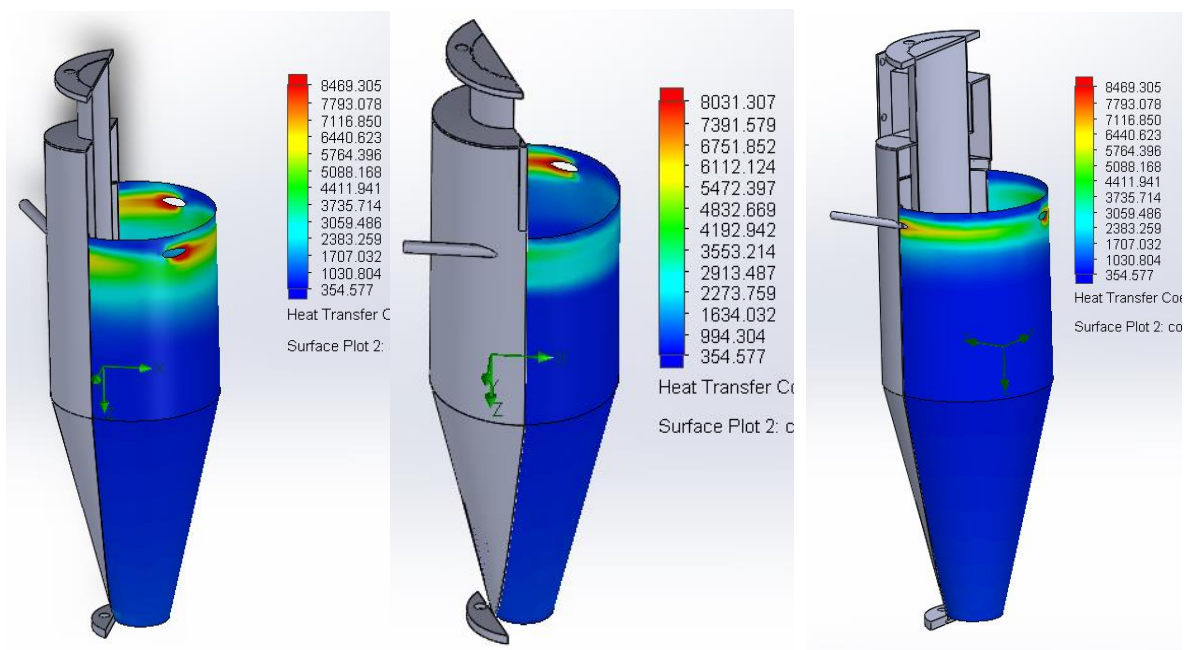


Рисунок - 3.1.4 Визначено коефіцієнт тепловіддачі з швидкістю подачі води 2 м/с
та: *а* – 3 патрубки діаметром 8 мм; *б* – 2 патрубки діаметром 8 мм; *в* – 3 патрубки
діаметром 6 мм

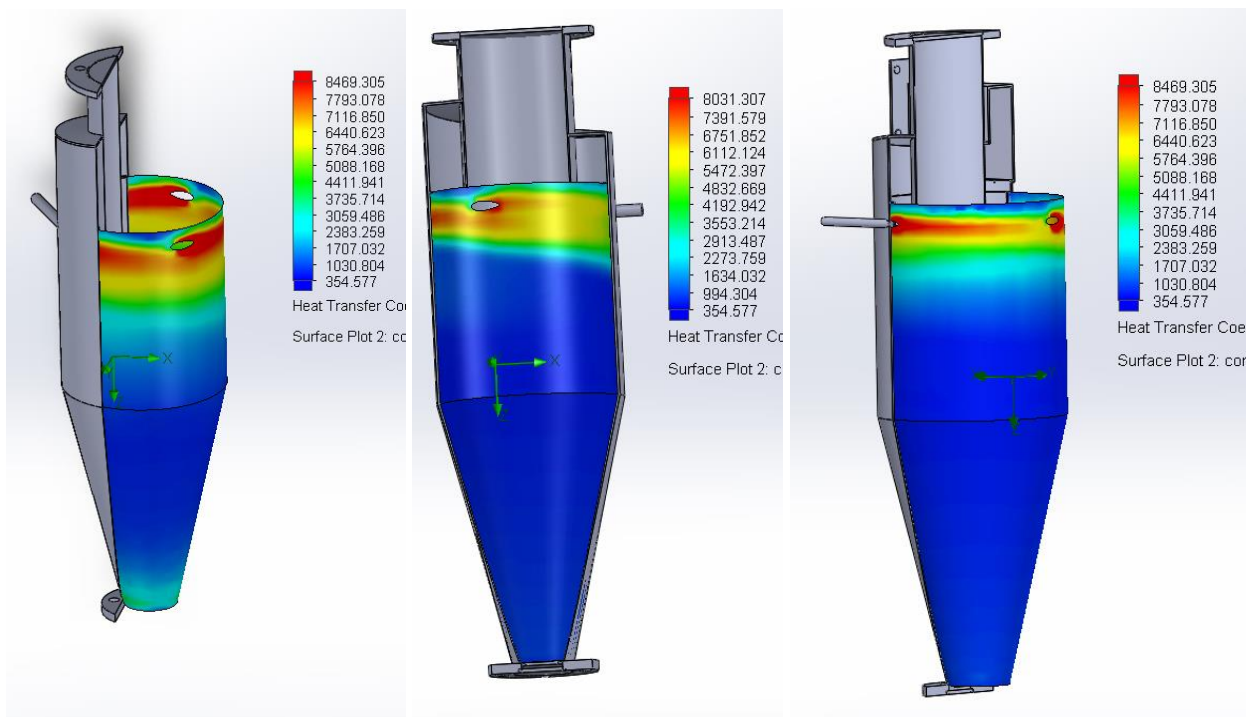


Рисунок - 3.1.5 Визначено коефіцієнт тепловіддачі з швидкістю подачі води 3 м/с
та: *а* – 3 патрубки діаметром 8 мм; *б* – 2 патрубки діаметром 8 мм; *в* – 3 патрубки
діаметром 6 мм

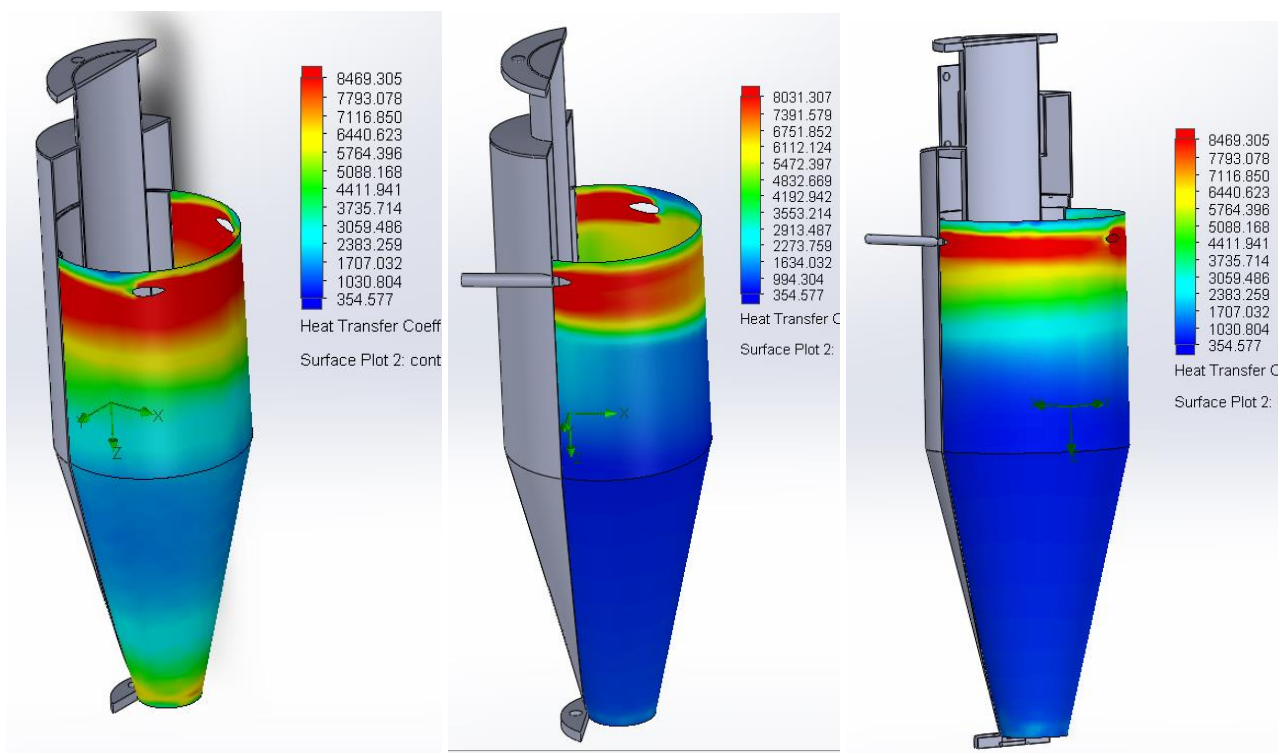


Рисунок - 3.1.6 Визначено коефіцієнт тепловіддачі з швидкістю подачі води 4 м/с та: *a* – 3 патрубки діаметром 8 мм; *б* – 2 патрубки діаметром 8 мм; *в* – 3 патрубки діаметром 6 мм



Рисунок - 3.1.7 Визначено товщину плівки в циклоні



Рисунок - 3.1.8 Визначено товщину плівки в циклоні

Також для перевірення утворення плівки було використано металевий конус із більшим діаметром 360 мм та меншим 160 мм. Виходячи із даних, щоб покрити плівкою більше внутрішньої частини апарату (так як в даному разі очевидно, що покрита тільки незначна частина) потрібно подавати рідину із більшою швидкістю, але і цього буде замало, тому потрібно встановити додатковий патрубок для подачі рідини. Відповідно до формули п. 2.3. для визначення товщини плівки, із збільшенням розмірів апарату потрібно подавати більше рідини для того, щоб покрити необхідну площу плівкою та подавати її із більшою швидкістю для того, щоб рівномірно покривала внутрішню частину апарату.



Рисунок - 3.1.9 Визначено товщину плівки в циклоні

Можна зробити висновок, що подача рідини повинна здійснюватися хоча б з двох патрубків для того, щоб покрити плівкою внутрішню частину апарату, але чим більше їх тим більш рівномірно розподіляється плівка по поверхні стінки та покривається більша площа нею. Разом з цим кількість патрубків не має бути занадто великою.

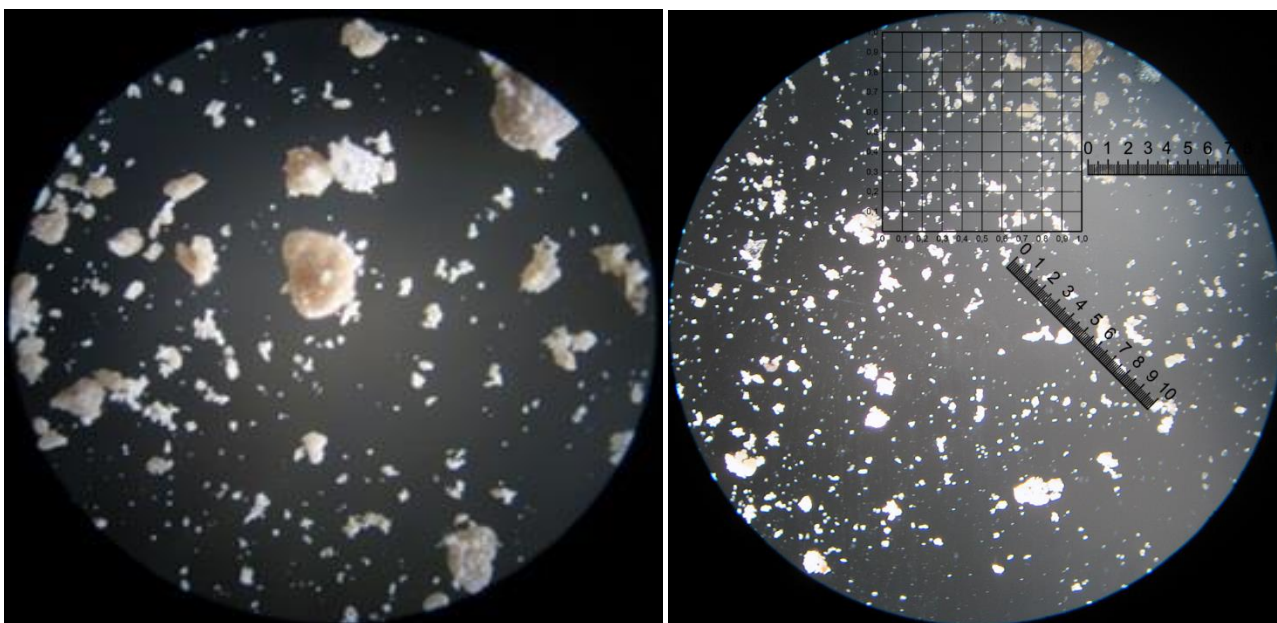


Рисунок - 3.1.4 Фракційний склад пилу в циклоні (зразки під мікроскопом)

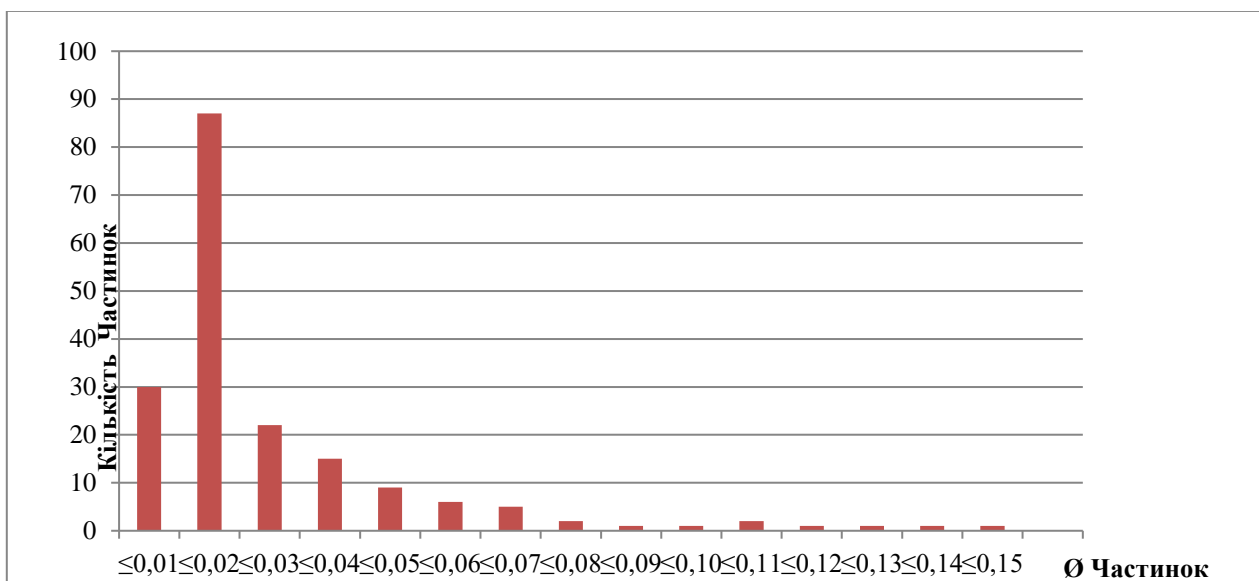


Рисунок - 3.1.5 Осередженні результати фракційного складу пилу

3.1.1 Висновки

Висновок: Проаналізовано доцільність використання зрошування циклону робочим розчином, використовуючи при цьому деяку кількість патрубків регулюючи при цьому такі параметри, як поперечний переріз патрубка, їх кількість та швидкість подачі робочого розчину.

3.2 Методика проведення досліджень реологічних параметрів рідкої фази

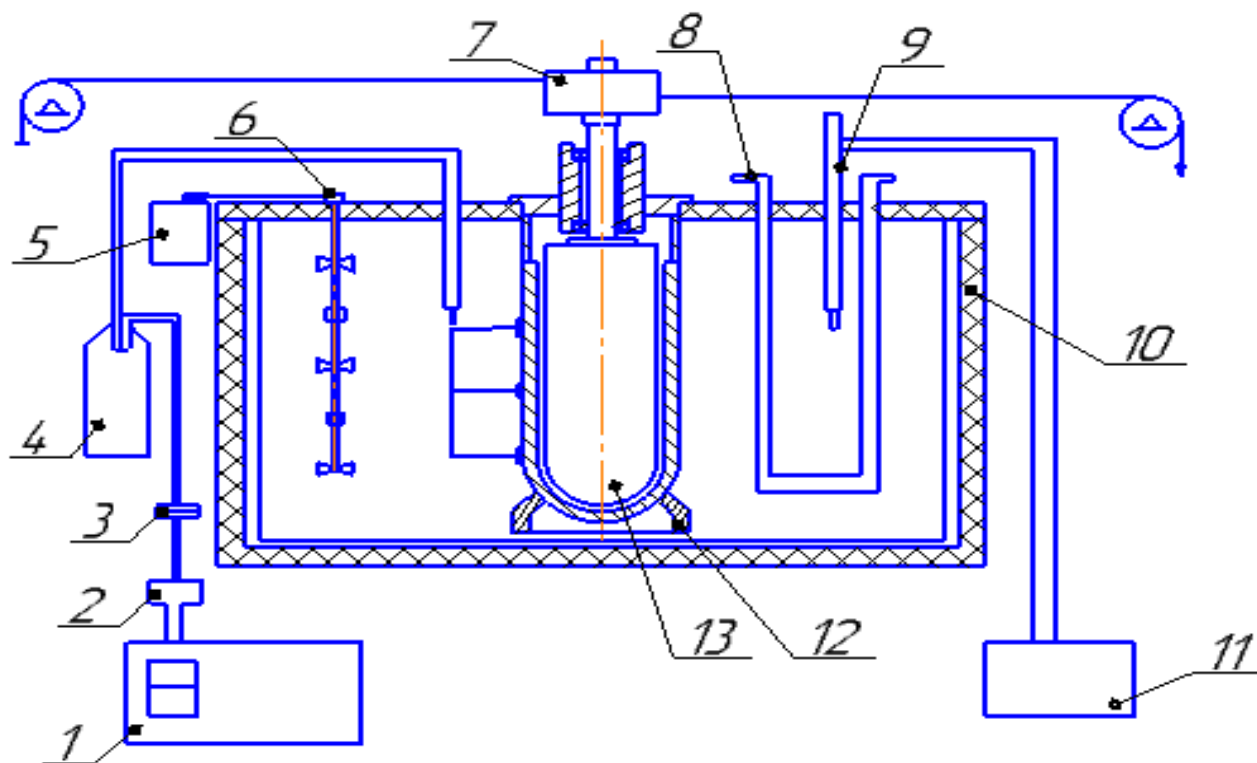
Починаючи дослід необхідним є встановлення віскозиметра відповідно рівня, далі визначити тертя G_{mp} , а тому потрібно до кожної нитки повісити вантажі, які важать 0,5; 1; 1,5; 2 *грам*, поки не будуть помітні оберти центральної осі. Момент, який створює вантаж масою до двох грамів має бути менше ніж сила тертя в підшипниках, в іншому випадку потрібно використати бензин для промивання підшипника і змазати його та здійснити перевірку знову. Визначити масу чашок та внести дані у таблицю.

Щоб завантажити дослідний матеріал до нерухомого циліндру потрібно підтягнути корпус разом з циліндром, який крутиться та зафіксувати, регулюючи притискний гвинт. В зовнішній нерухомий циліндр заповнити певну кількість дослідного матеріалу (треба застосувати стакан із позначкою необхідного рівня). Далі треба, щоб кришка повернулася у відповідне положення. Ввімкнути мішалку та нагрівача, відрегулювати задане значення температури, почати виконувати вимірювання.

Покласти до чашки вантаж та відпускаючи гальма визначити проміжок часу обертання циліндра при встановлених кількостях поворотів. Заміряти по декілька разів кожен вантаж доти, поки циліндр не обертатиметься 5-6 разів за секунду. Температура матеріалу визначається після п'яти хвилин впродовж всього дослідження. В кінці необхідним є вимкнення нагрівача та мішалки. Підтягнути кришку і прокрутити та витягти циліндр з корпусу. Рухомий циліндр має поділки по яких визначається висота рівня дослідного матеріалу між циліндрами. Далі прочистити кожен циліндр від дослідного матеріалу [32].

3.3 Опис експериментальної установки для проведення досліджень реологічних параметрів неньютонівських рідин методом віскозиметрії

При відборі проб з подачі охолодженої води у простір циклону через форсунки, було створено модельний розчин з твердої фази і води та встановлено, що співвідношення води та твердої фази знаходиться у співвідношенні (35:65 %, 40:60 %, 45:55 %).



1 – вимірювач; 2 – перемикач; 3 – муфта; 4 – посуд Д'юара; 5 – електричний двигун; 6 – перемішуючий елемент; 7 – шків; 8 – теплообмінник; 9 – термометр; 10 – нагрівач; 11 – блок регулювання; 12, 13 – циліндр;

Рисунок 3.3– Схема установки ротаційного віскозиметра

Дослідження реологічних характеристик розчинів полімерів здійснюється на ротаційному віскозиметрі типу РВ-8 де швидкість зсуву знаходиться у діапазоні $j=2...300\text{с}^{-1}$. Суть дії даного віскозиметра наступна: два циліндри знаходяться на одні осі обертання, поміж них подається розчин, що досліджується. Потім один з циліндрів обертається, розчин деформується і виникає явище зсуву між шарами дослідної речовини [32].

3.4 Перевірка адекватності математичної моделі

При моделюванні було визначено коефіцієнт тепловіддачі, який близький до розрахованого рисунок - 3.4.1.

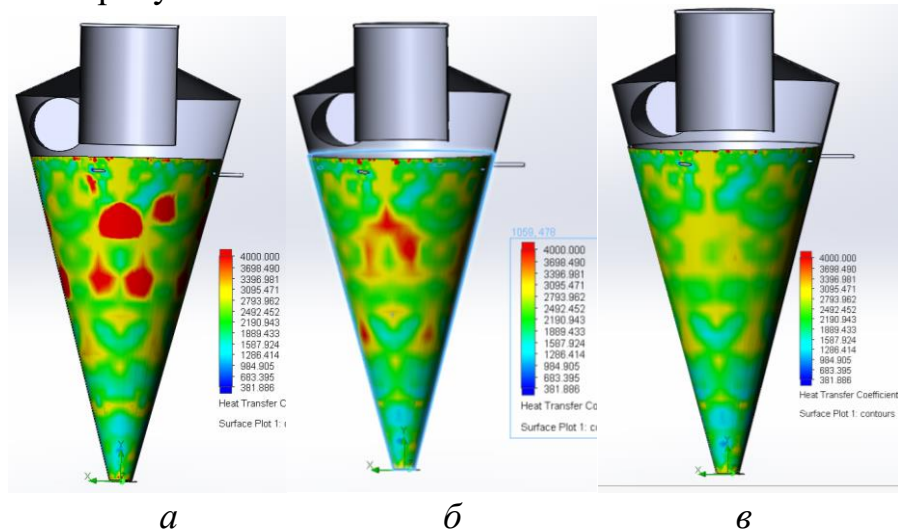


Рисунок - 3.4.1 Визначено коефіцієнт тепловіддачі з швидкістю подачі води:

a – 5 м/с; *б* – 8 м/с; *в* – 10 м/с

Було змодельовано процес сепарації повітря у циклоні та визначено, що гідравлічний опір близький до розрахованого, також визначено температуру, швидкість та коефіцієнт тепловіддачі рисунок - 3.4.2.

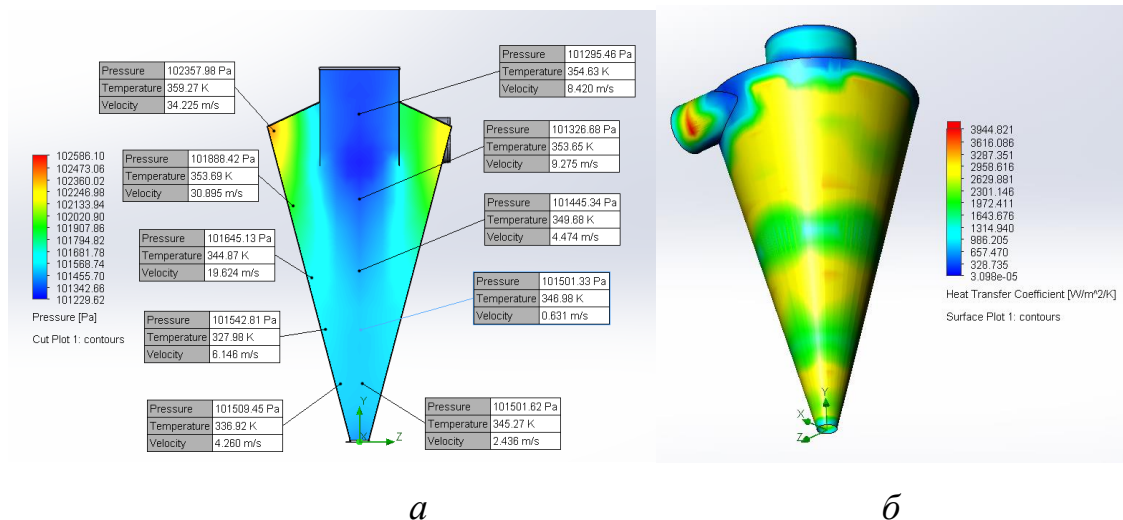


Рисунок - 3.4.1 Змодельовано процес сепарації повітря у циклоні:

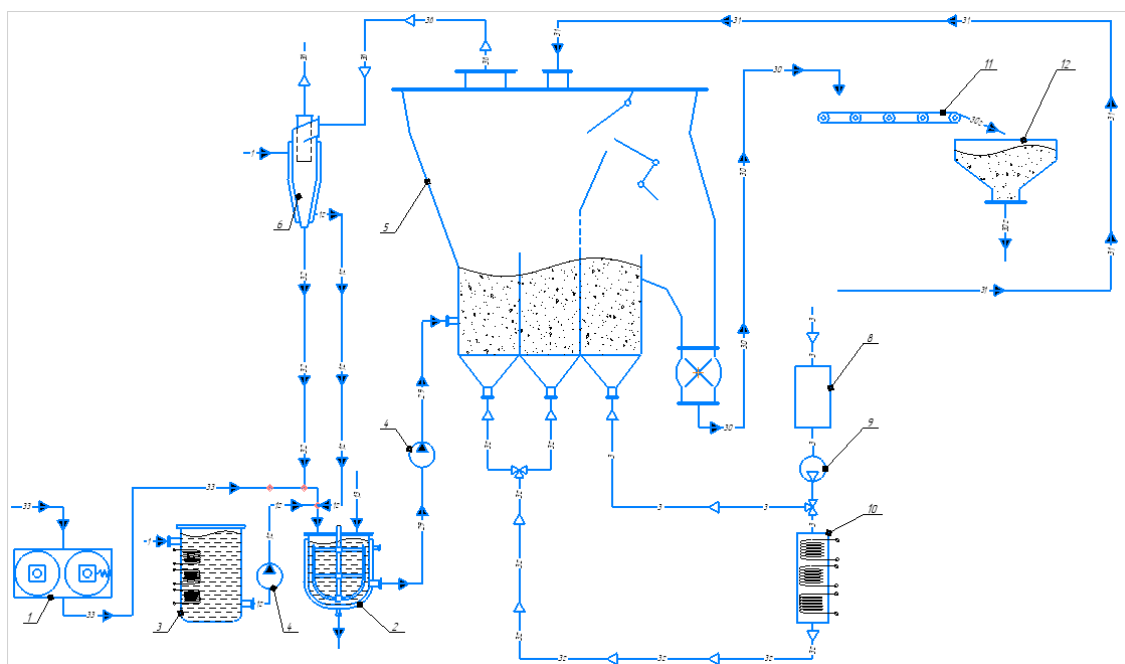
a – визначено температуру, швидкість і тиск; *б* – коефіцієнт тепловіддачі

Висновок: Проведене моделювання процесу дає можливість перевірити параметри, які характеризують процес вловлювання високодисперсних твердих частинок.

4. ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Опис експериментальної установки

В гранулятор 5 подаються центри грануляції з насос-дозатора 4, гумати дробляться і подаються з розчином сульфату амонію 40 % як розчин для нарощення діаметру гранул, далі відпрацьований теплоносієм разом із відпрацьованим розчином потрапляє до циклону 6, далі він подається до перемішувача 2 і знов до гранулятора. В якості зрідженого теплоносія використовується повітря, що очищується в вентиляторі ВЦП 10 і нагрівається за допомогою теплогенератора 11. Готовий продукт через транспортер 12 подається в бункер 13.



1 – щокова дробарка; 2 – мішалка; 3 – нагрівач; 4 – насос - дозатор; 5 – гранулятор; 6 – мокрий циклон; ; 7 – вентилятор; 8 – фільтр; 9 – вентилятор ВЦП (газодувка); 10 – теплогенератор; 11 – транспортер; 12 – бункер з готовим продуктом; 13 – валкова дробарка; 14 – бункер для нових центрів грануляції;

Рисунок 4.1 – Схема експериментальної установки

4.2 Методика розрахунку циклону при одержанні багатокomпонентних органо-мінерально-гумінових добрив

Метою розрахунку є визначення технологічних параметрів процесу та основних розмірів апарату.

4.3.1 Вихідні дані до розрахунку

Продуктивність гранулятора за готовим продуктом, т/год	$G_2 = 1;$
Еквівалентний діаметр частинок у псевдозрідженому шарі, мм	D_e
Мінімальний діаметр часток у псевдозрідженому шарі, мм	$D_{\min};$
Порозність нерухомого шару	$\varepsilon;$
Кінцева вологість гранульованого продукту, %	$u_2;$
Коефіцієнт, що враховує втрати розчину в магістралі	$\alpha;$
Концентрація початкового розчину, %	$x_p;$
Вологовміст теплоносія перед калорифером, %	$x_0;$
Температура теплоносія перед калорифером, °C	$t_0;$
Температура теплоносія на вході в шар матеріалу, °C	$t_1;$
Температура теплоносія на виході із шару матеріалу, °C	$t_2;$
Температура матеріалу до гранулятора, °C	$\theta_1;$
Густина матеріалу, кг/м ³	$\rho_T;$
Теплоємність матеріалу, Дж/(кг·C)	$C_M;$
Теплоємність води, Дж/(кг·C)	$C_B;$
Розрахунковий мінімальний коефіцієнт гранулоутворення, %	$\psi .$
Аналітичні вирази, що визначають залежність теплофізичних параметрів	

теплоносія від температури t_0 , °C:

- 1) густина теплоносія, кг/м³:

$$\rho_{\text{газ}}(t) = 1,29 \cdot \frac{273}{273 + t}$$

- 2) динамічна в'язкість теплоносія, Па·с:

$$\mu(t)_{\text{газ}} = 1,717 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{t + 273}{273} \right)^{0,82}$$

- 3) кінематична в'язкість теплоносія, м²/с:

$$\nu(t)_{\text{газ}} = \frac{\mu(t)_{\text{газ}}}{\rho(t)_{\text{газ}}}$$

- 4) теплоємність теплоносія, Дж/(кг·°C):

$$c(t)_{\text{газ}} = 1000 \cdot (1,0005 + 1,1904 \cdot 10^{-4} \cdot t)$$

- 5) теплопровідність теплоносія, Вт/(м²·°C):

$$c(t)_{\text{газ}} = 2,44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{t + 273}{273} \right)^{0,82}$$

- 6) залежність теплопровідності теплоносія від температури t , Вт/(м·K):

$$\lambda(t) = 2,44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{t + 273}{273} \right)^{0,82}$$

- 7) залежність питомої ентальпії теплоносія від температури t та вологовмісту x , кДж/кг:

$$I(x, t) = 1,01 \cdot t + x \cdot (2493 + 1,97 \cdot t)$$

- 8) залежність парціального тиску водяних парів від абсолютного тиску P та вологовмісту x , Па:

$$P_{\text{п}} = P \cdot \frac{x}{x + 0,622}$$

- 9) залежність тиску насичення від температури t , Па:

$$P_H = e^{\frac{1500,3+23,5 \cdot t}{234+t}}$$

10) залежність температури мокрого термометра від ентальпії I , С:

$$t_m(I) = \frac{-6,14 + 0,651 \cdot I}{(1 + 0,0097 \cdot I - 3,12 \cdot 10^{-6} \cdot I^2)}$$

4.3.2 Матеріальний розрахунок гранулятора

Витрата вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності гранулятора G_2 та коефіцієнта гранулоутворення $\psi = 80 - 90\%$, кг/с:

$$G_1 = \frac{G_2 \cdot (1 + \alpha) \cdot (100 - u_2)}{x_p \cdot \psi \cdot 36}$$

Отже обираємо плунжерний насос для дозування. Насос призначений для роботи в хімічно агресивних середовищах.

Кількість випареної води, кг/с:

$$M_v = G_1 - \frac{G_2}{3600}$$

4.3.3 Тепловий розрахунок гранулятора

Температура матеріалу у псевдозрідженому шарі приймаємо в середньому на 2 градуса меншою, ніж температура повітря, що покидає гранулятор, °С:

$$t_{\text{ш}} = t_2 - 2$$

Приймемо модель повного перемішування матеріалу в апараті. Тоді можна припустити, що температура матеріалу після апарату рівна температурі матеріалу в шарі, °С:

$$\theta_2 = t_{\text{ш}}$$

Витрати теплоти з висушеним матеріалом, що віднесена до одного кг видаленої вологи, кДж/кг:

$$q_m = \frac{G_2 \cdot C_m \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{M_b \cdot 3600}$$

Витрати теплоти в оточуюче середовище приймаємо 15% від загальних, кДж/кг:

$$q_{\text{п}} = 0,15 \cdot \Delta$$

Загальні теплові втрати віднесені до 1 кг випареної вологи, кДж/кг:

$$\Delta = 1,15 \cdot (C_b \cdot \theta_1 - q_m)$$

Ентальпія теплоносія при параметрах при вході до калорифера знаходиться за формулою Рамзіна (4.10), кДж/кг [45]:

$$I_0 = 1,01 \cdot t_0 + (2493 + 1,97 \cdot t_0) \cdot x_0,$$

Ентальпія теплоносія при параметрах при виході із калорифера знаходиться за формулою Рамзіна (4.10), кДж/кг [45]:

$$I_1 = 1,01 \cdot t_1 + (2493 + 1,97 \cdot t_1) \cdot x_0,$$

Вологовміст теплоносія при параметрах при вході із апарату, кг в./кг п.:

$$x_2 = \frac{t_2 - I_1 + x_0 \cdot \Delta}{\Delta - 1,97 \cdot t_2 - 2493},$$

Питомі витрати теплоти, кДж/кг:

$$q = \frac{I_1 - I_0}{x_2 - x_0}$$

Тепловий ККД гранулятора, %:

$$\eta = \frac{r_{\text{ш}}}{q},$$

$r_{\text{ш}}$ – теплота пароутворення для води при температурі

шару, кДж/кг,:

$$r_{\text{ш}} = -2,362 \cdot t_{\text{ш}} + 2501$$

Загальні витрати теплоти, кВт:

$$Q = q \cdot M_{\text{в}}$$

Приймаємо калорифер типів ЭК-15; ЭК-30; ЭК-45; ЭК-65; ЭК-90 із потужністю E , кВт та коефіцієнтом використання тепла $\eta_{\text{к}} = 0,5 - 0,6$ [46].

Кількість електрокалориферів:

$$n_{\text{к}} = \frac{Q}{E \cdot \eta_{\text{к}}},$$

Остаточна кількість калориферів приймається у більшу сторону.

Питомі витрати абсолютно сухого повітря, кг п./кг в.:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0}$$

Загальна витрата теплоносія, кг пов/с:

$$L = l \cdot M_{\text{в}}$$

Середня температура теплоносія в апараті, °С:

$$t_{\text{с.а}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Середній вологовміст в апараті, кг в./кг п.:

$$x_{\text{с.а}} = \frac{x_2 + x_0}{2}$$

Середня об'ємна витрата вологого повітря, м³/с:

$$V_{\text{пов}} = \frac{L}{\rho(t_1)}$$

Отже обираємо вентилятор типу ВЦУН із об'ємною продуктивністю V , м³/год.

Отже обираємо циклон типу СИОТ 7 із об'ємною продуктивністю $V_{\text{пов}} = 10000 \text{ м}^3 / \text{год}$ [33]. Для забезпечення необхідної продуктивності потрібно 2 апарати.

4. 4 Розрахунок швидкість подачі повітря у циклон

Площа поперечного перерізу штуцера для входу повітря даного циклону буде, м^2 :

$$S_{\text{ш}} = \pi R_{\text{ш}}^2$$

Звідки знаходимо швидкість повітря на вході у циклон з урахуванням того, що прийнято 2 апарати, м/с :

$$W_{\text{пов}} = \frac{0,5 \cdot V_{\text{пов}}}{S_{\text{ш}}}$$

Але цієї швидкості може бути недостатньо для вловлювання частинок малого розміру, тому подаємо робочий розчин до апарату збільшуючи ефективність вловлювання при цьому.

4.5 Матеріальний розрахунок циклону

Кількість утвореного пилу з урахуванням заданої продуктивності гранулятора G_2 та коефіцієнта гранулоутворення $\psi = 85\%$, кг/с :

$$G_{1n} = G_2 - G_2 \cdot \psi$$

Коефіцієнт вловлювання становить $\varphi = 93-95\%$, тоді кількість вловленого пилу [33]:

$$G_{2n} = G_{1n} \cdot \varphi$$

Відношення кількості води у розчині становить 60% , приймаємо кількість

води яку потрібно сконденсувати 70 % у зв'язку з тим, що всередині апарату волога буде випаровуватися, тоді кількість води, яку необхідно сконденсувати:

$$G_{16} = \frac{G_{2n} \cdot 70}{30}$$

4.6 Гідравлічний розрахунок апарату

Гідравлічний опір апарату, Па:

$$\Delta P = \xi_2 \frac{W_c^2 \cdot \rho_{\text{газ1}}}{2},$$

де ξ_2 – коефіцієнт гідравлічного опору циклону типу СИОТ 7 [33]. Для заданої конструкції становить $\xi_2 = 6$.

Витрати потужності, кВт:

$$N = \frac{\Delta P \cdot V_p}{1000}$$

4.7 Визначення поверхні теплообміну

Вихідні дані:

Густина розчину ρ_r ., кг/м ³	1000
Щільність зрошення, L, кг/(м ² с)	0,00587
Вільний об'єм, V, м ³ /м ³	3,47
Висота циклону, h, м	3,5
Вязкість розчину μ_r ., Па*с	0,00208
Швидкість входу повітря в апарат $W_{\text{пов}}$., м/с	18
Швидкість входу розчину в апарат W_v ., м/с	8

Радіус патрубку R_n , м	0,0125
Температура повітря на вході в апарат, $\Delta T_{1П}$, °C	90
Температура повітря на виході з апарату, $\Delta T_{1К}$, °C	50
Температура розчину на вході в апарат, $\Delta T_{2П}$, °C	5
Температура розчину на виході з апарату, $\Delta T_{2К}$, °C	50

Відповідно до заданих температур визначаємо середній температурний напір:

$$\Delta T_c = \frac{\Delta T_B + \Delta T_M}{2}$$

де

$$\Delta T_B = \Delta T_{1П} - \Delta T_{2К}$$

$$\Delta T_M = \Delta T_{1К} - \Delta T_{2П}$$

Визначаємо питому теплоту пароутворення для конденсації необхідної кількості водяної пари Дж:

$$Q_p = r \cdot G_s$$

Щоб охолодити пило-газову суміш до температури 50 °C необхідно витратити таку кількість енергії:

$$Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot \Delta t$$

Тоді загальна кількість теплоти буде:

$$Q_z = Q_p + Q_2$$

Знаючи геометричні розміри апарату, визначаємо площу поверхні охолодження:

$$F_c = \pi \cdot l \cdot (r_c + R_c)$$

Питома поверхня, м²/м³:

$$\sigma = S / V$$

Еквівалентний діаметр, м:

$$de = 4 \cdot Vs / \sigma$$

Критерій рейнольдса для газу:

$$Reh = 4 \cdot wf \cdot \rho h / (\sigma \cdot \mu h)$$

Критерій рейнольдса для плівки:

$$Rer = 4 \cdot L / (\sigma \cdot \mu)$$

Критерій прандтля для газу:

$$Prh = \frac{cp \cdot \mu h}{\lambda h}$$

Узагальнене рівняння для визначення коефіцієнту теплопередачі від газу до рідини, критерій Кирпичова:

$$Ki = 0.01 \cdot Reh^{0.7} \cdot Rer^{0.7} \cdot Prh^{0.33}$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі Вт/м²*К:

$$\alpha_1 = \frac{Ki \cdot \lambda h}{de}$$

Визначаємо критерій Прандтля для рідини:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_2}$$

Перераховуємо Критерій рейнольдса для рідини:

$$Re_2 = \frac{w_2 \cdot d_2 \cdot \rho_2}{\mu_2}$$

Визначаємо критерій Нуссельдта для рідини:

$$Nu_2 = 0.021 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.43} \cdot Pr^{0.25}$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі для рідини Вт/м²*К:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2}$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Площа поверхні теплообміну, м²:

$$F = \frac{Q_z}{K \cdot \Delta T_{сер}}$$

Визначення якої площі поверхні теплообміну не вистачає:

$$\Delta = \frac{F - F_c}{F}$$

Враховуючи значення із програми солідворкс проведемо перерахунок.

Приймаємо $\alpha_{пов} = 150$ тоді:

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{пов}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Площа поверхні теплообміну, м²:

$$F_n = \frac{Q_z}{K_n \cdot \Delta T_{сер}}$$

Перевірка необхідної площі поверхні теплообміну:

$$\Delta = \frac{F_n - F_c}{F_n}$$

Вибрано 2 циклони продуктивністю 10000 м³/год. Відповідно до розрахунків можна зробити висновок, що поверхні теплообміну даного апарату не вистачає на 16,7 %, і кількості сконденсованої води буде менше заданої величини, тому можна додатково зрошувати циклон водою, але при високих температурах вона буде випаровуватися, тоді пропонується розглянути два випадки:

- встановлення циклону із більшою поверхнею теплообміну;
- встановлення конденсатора на вихідному патрубку для вловлювання решти водяної пари;
- охолоджувати пилогазову суміш у трубі перед подачею до циклону.

Відповідно до моделювання процесу у програмі солідворкс встановлено, що поверхні теплообміну вистачає з запасом 44,7 %,

4.8 Результати розрахунку циклона

Таблиця 4.1 – Розраховані параметри гранулятора в залежності від температури на вході до апарату об'ємною продуктивністю

Питомі витрати теплоти q , кДж/кг	3433
Об'ємна продуктивність за повітрям, $V_{\text{пов}}$, м ³ /с	5,322
Питомі витрати абсолютно сухого повітря, l , кг п./кг в	8,566
Швидкість подачі повітря у циклон, $W_{\text{пов}}$, м/с	18
Площа поверхні теплообміну, F , м ²	25,36
Площа поверхні теплообміну відповідно до моделювання процесу у програмі солідворкс, F_n , м ²	11,65

Програма розрахунку промислового гранулятора, що складена в середовищі MathCad наведена у додатку А. Специфікація до складального креслення промислового гранулятора наведена у додатку Е.

4.4 Висновки

1. Розроблено рекомендації щодо проектування конструкції.
2. Сформульовано технологічний процес виробництва мінеральних добрив.
3. Запропоновано модернізовану конструкцію для внутрішньої подачі рідини для підвищення ефективності вловлювання.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Розробка стартап-ідеї проходить по методиках [41-48]. Викиди дрібнодисперсних твердих частинок, що утворюються в промисловості та транспортних засобах, розглядаються як головні проблеми здоров'я та екології. Забруднення твердими частинками спричинене спалюванням викопного палива, вихлопом автомобіля та іншими видами діяльності людини. Вдихувані частинки, особливо дрібні частинки, можуть бути шкідливими для організму людини та навколишнього середовища. Дрібні частинки можуть поглинати більш токсичні речовини, такі як важкі метали і поліциклічні ароматичні вуглеводні, і можуть потрапляти в альвеоли людини. Дрібні частинки також можуть викликати різні захворювання.

На сьогоднішній день виробництво добрив має надзвичайно важливе значення. Найбільш доцільно виробляти азото-гумінові і азото-мінеральні добрива з вмістом сульфату, калію в грануляторі. Під час виробництва генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок та парів води. Забруднення твердими частинками в зараз є одним з основних видів забруднення повітря.

У промисловості на підприємствах досить поширені пиловловлювачі мокрого типу очищення від пилу повітря, передусім дрібнодисперсного $d > 0,3$ — $1,0$ мкм у вибухонебезпечних і гарячих повітряних сумішах. Але варто зауважити ряд недоліків таких пиловловлювачів: утворюється шлам, для якого необхідні спеціальні системи для його перероблення; викидається волога в атмосферу; потреба у створенні зворотних систем водопостачання. Також слід зауважити, що дані недоліки незначно звужують область застосування мокрих пиловловлювачів. Ці пиловловлювачі нерідко можна побачити на

машинобудівних, ливарних, металургійних, нафтодобувних, деревообробних та інших підприємствах.

Для вловлювання сухих викидів можна застосовувати циклони та рукавні фільтри. Основними недоліками рукавних фільтрів є те, що вони працюють тільки із сухими матеріалами, недовговічність тканини та дуже низька ефективність вловлювання частинок діаметром менше 10 мкм. Основними перевагами циклонів є простота виготовлення, відсутність рухомих деталей, відносно невеликий гідравлічний опір і велика продуктивність. В основному вловлюються частинки розміром більше 5 мкм тому, що частинки з меншим розміром майже не вловлюються [2]. Тому модернізація існуючого обладнання спрямована на підвищення ефективності вловлювання дрібних часток, задача якої є актуальною.

Виходячи з вищесказаного було запропоновано розробку циклону, який підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, що складається з твердих частинок та водяної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті [10]. Основою розробки цього стартап-проекту є ідея комерціалізації модернізованого циклонного апарату за допомогою розміщення додатково форсунок для розпилення холодної води або робочого розчину, встановленням охолоджуючої оболонки та осьовий вихідний патрубок, що містить оболонку, в якій рухається охолоджуюча вода (див. рис. 2.1). Циклон, який було запропоновано, істотно збільшує ефективність пиловловлювання забруднення композитами, що вміщає в себе тверді частинки і водяну пару, а також зменшує температуру всередині апараті. Так було забезпечено збільшення ефективності вловлювання циклонного апарату. Досліджено, що цей показник сягав +10% до основного вловлювання.

Таким чином, вирішується задача, яка клієнтам дасть змогу збільшити ефективність процесу уловлювання, а саме створювати розчин із уратів та сульфату амонію в процесі чистки повітря – це забезпечить зменшення витрат

води, розчину, збільшивши його кількість на етапі змішування сухого розчину з водою.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5. 1 – Опис ідеї стартап–проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Нова конструкція та новий спосіб очистки промислового повітря	Очищення промислового повітря від композитного забруднення	Підвищення продуктивності проведення процесу
		Збільшення екологічного ефекту виробництва та підвищення ефективності очистки промислового повітря
	Застосування модернізованого обладнання	Підвищення енергоефективності проведення процесу
		Зменшення витрат на придбання обладнання

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок Промтехкомплект та Вент-Заводи таблиця 5.1.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначено попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів–замінників чи товарів–аналогів, що вже існують на ринку, та проведено

збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проведено порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні); в) кращі значення (S, сильні), наведено в таблиці 5.2 [43].

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Провент	Вент-Заводи			
Вартість апарату, грн	7000	6000	6500	+		
Габаритні розміри апарату, м	0,49×0,15×0,175	0,5×0,15×0,15	0,5×0,15×0,15	+		
Продуктивність, м³/год	124	121	125	+		
Діапазон розміру частинок пилю, мкм	5-30	10-30	15-30			+
Коефіцієнт вловлювання %	95	90	91			+
Можливість роботи з охолодженням стінок циклону	Так	Ні	Ні			+

Таким чином, сильними сторонами стартап-проекту є: діапазон розміру частинок пилю, коефіцієнт вловлювання, можливість роботи з охолодженням стінок циклону; слабкими - вартість апарату, габаритні розміри апарату, продуктивність.

Визначений перелік сильних характеристик та властивостей ідеї є

підґрунтям для формування його конкурентоспроможності. Основною конкурентною перевагою проекту є покращення коефіцієнту вловлювання та зниження витрат води. На основі порівняння техніко-економічних характеристик, можна зробити висновок про перспективність реалізації даного проекту.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

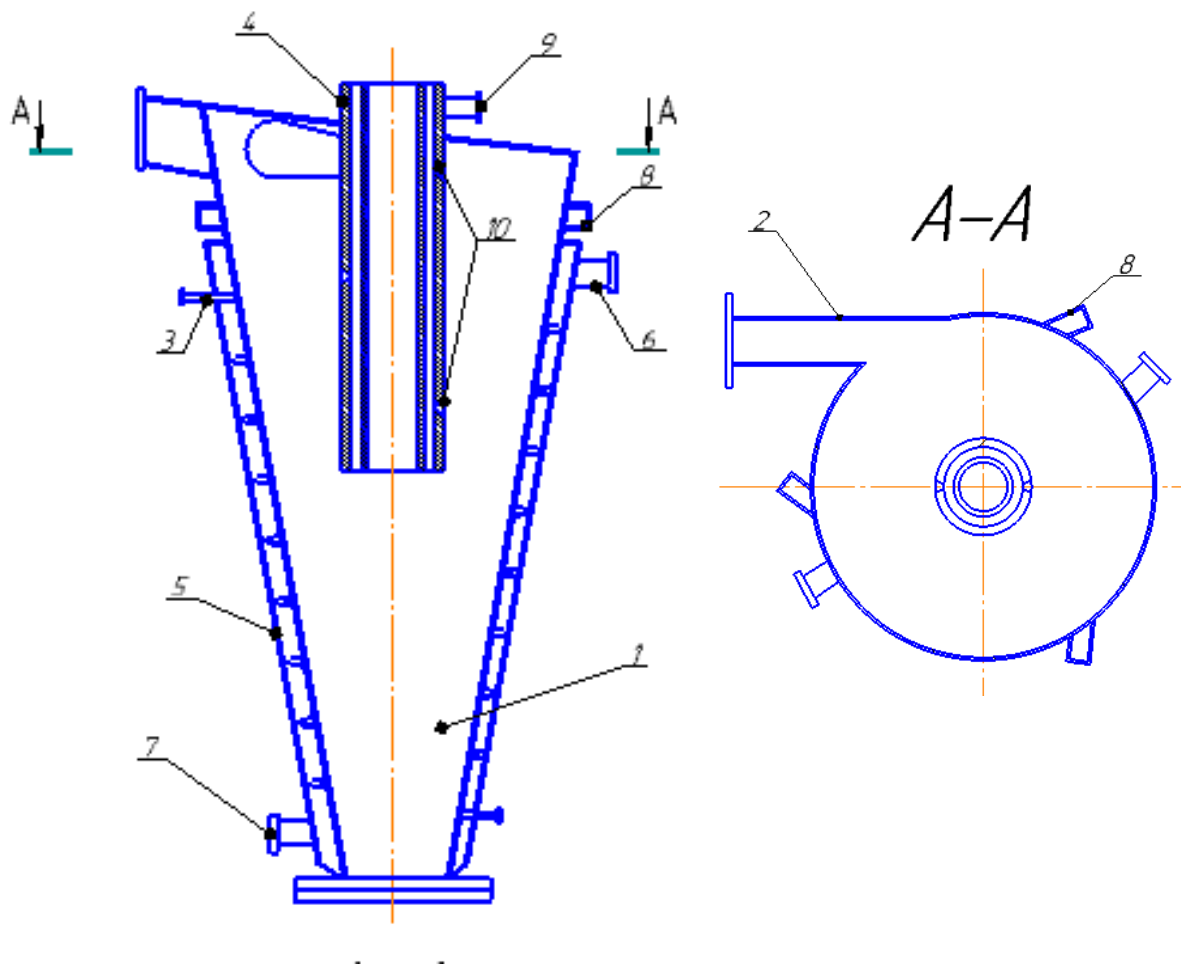
У межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту. Циклон забезпечує стійке протікання процесу очищення запиленого повітря від композитних систем при одержанні органо-мінеральних добрив, необхідний ступінь вловлювання та підтримку необхідних технологічних параметрів процесу.

Опис технологічного процесу очищення запиленого повітря при отриманні органо-мінеральних добрив наведено в пункті 5.1. Дана технологія очистки промислового повітря використовуються таким чином вперше тому, що традиційно використовують очистку повітря циклоном із подальшою доочисткою у скрубєрі. Аналогів розробленої технології очистки, що дозволяє зменшити навантаження на циклон та не генерувати велику кількість слабокислих стоків які містять мінеральні та органічні аморфні включення – немає.

Запроновано нову конструкцію для процесу очистки сумішей із пилу та газу від багатокomпонентних систем при отриманні гуміново-мінеральних композитів. Було отримано позитивне рішення запропонованої конструкції на одержання патенту на корисну модель України.

Конструкцію апарату наведено на рисунку. 5.1 (патент України на корисну модель).

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.



1 – корпус; 2 – тангенційний вхідний патрубок; 3 – змієвик;
4 – осьовий вихідний патрубок; 5 – оболонка; 6 ,7,9– штуцер; 8, 10 – форсунка;

Рисунок 1.1 – Схема циклонного апарату

В таблиці 5.3 наведено технологічна здійсненність ідеї проекту.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Шлях очистки промислового повітря	Класичний – очистка через циклон із доочисткою у скрубєрі	Дані технології існують. В їх доробці є необхідність.	Так, дані технології доступні.
2	Шлях очистки промислового повітря	Нова технологія – із подачею води в циклон і використанням охолоджуючої оболонки	Дана технологія не існує. В розробці їх є необхідність.	Так, дана технологія доступна.
3	Оптимізація та автоматизація процесу виробництва	Модернізована система автоматизації	Наявні, проводиться модернізація	Є доступними для купівлі, впровадження в виробничий процес
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 2 – Із подачею води в циклон і використанням охолоджуючої оболонки.				

Тому, можна з впевненістю сказати про можливість реалізації проекту з впровадженням в лінію виробництва гранульованих добрив, а в подальшому в інші лінії де потрібна очистка промислового повітря.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначено ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Це дає можливість спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та

пропозицій проектів–конкурентів.

Спочатку проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.3). Середня норма рентабельності в галузі 19% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 16%. За попереднім оцінюванням можна сказати, що ринок є привабливим для входження. В таблиці 5.3 наведено попередні характеристики потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Загальний обсяг продажу, грн/ум. од	2000
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ, ГОСТ, ISO для продукції, а саме вимоги до токсичності тощо.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	19

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення ефективності вловлювання у відцентровому апараті.	Підприємства, що займаються очисткою повітря.	Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.	<ul style="list-style-type: none"> - якість, тобто більш ефективна очистка промислового повітря; - економічна ефективність; - екологічна ефективність; - ціна.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 5.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 5.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [48].

Фактори поділяються на внутрішньо маркетингові середовище та зовнішньо маркетингові середовище [41–48]. До внутрішньо маркетингових факторів відносяться власний капітал стартап проекту, інтелектуальна ресурси, технологічні ресурси, матеріальні, місцезнаходження. До зовнішньо маркетингового середовища стартап проекту відносяться природні, політико–правові, соціо–культурні, економічні, науково–технічні і демографічного середовища. Фактори загроз вносимо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1. Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність». «Законодавство України про ліцензування певних видів господарської	Може вплинути на працездатність проекту, купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для товару Недостатня підтримка державою нових підприємців.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця. Зміна напрямків імпорту/експорту

Продовження таблиці 5.5 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
діяльності».	Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії.	
2. Військові дії на сході України. Торговельні відносини України з країнами ЄС, Китаю та інших країн.	Ембарго та заборони на торгівлю, митні збори при ввезенні імпортової продукції.	Перепрофілювання та пошук нових ринків збуту.
3. Природні: Пожежі, повені, зливи, урагани	Руйнування інфраструктури клієнтів .	Протидія стихійним явищам шляхом облаштування захистом від стихійних явищ, пожеж тощо, проведення інструктажу з техніки безпеки, ремонт та регулярні перевірки обладнання.
4. Економічні Криза Інфляція Підвищення цін на сировину.	Впливає на купівлю/продаж апарату, або ресурсу необхідного для апарату	Підвищення/пониження ціни на апарат
5. Необхідність закупівлі агрегатів за кордоном	Ресурс з якого виготовляються циклони, змінить ціну	Підвищення/пониження ціни на продукт та пошук і створення бази даних альтернативних постачальників

Продовження таблиці 5.5 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
6. Демографічні: Зниження народжуваності та кількості населення.	Зниження кількості потенційних споживачів продукції, зниження попиту. Зменшення кількості кваліфікованих кадрів для роботи проекту.	Пошук нових клієнтів та проектування обладнання для виробництва продукції. Наприклад, вихід на міжнародні ринки Проведення навчання
7. Соціо-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів впроваджувати інноваційні рішення	Пояснення споживачам, що пропоновані послуги зможуть підвищити ефективність виробництва Проведення навчальних семінарів, впровадження послуг з встановлення і обслуговування модернізованого обладнання

Таблиця 5.6 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Науково-технічні	Поява нової технології процесу вловлювання.	Розробка нового обладнання та конструкцій для процесу вловлювання. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію.
1. Демографічні: Зростання чисельності людей, які використовують добрива	Збільшення попиту на добрива	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому.
2. Соціально-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів купувати нове обладнання	Пропонувати споживачам замість купівлі нового обладнання модернізацію їх виробництва за допомогою наших послуг
3. Доступність ресурсів	Чим нижча ціна на матеріал, тим менша ціна на циклон, а значить у нас вагома перевага перед конкурентами	Невисока ціна на апарат, тобто на сам циклон
4. Підвищення кваліфікації кадрів	Вихід на рівні науково-технічного прогресу	Можлива подальша модернізація даного процесу очистки
5. Більша схильність до модернізації, ніж до повного оновлення виробництва	Дешевше зробити модернізацію одного апарату, чим всієї лінії	Збільшення числа клієнтів

Отже, було сформовано можливу реакцію стартап-проекту на появи нових загроз та можливостей.

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку, отримані дані заносимо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: Монополістична конкуренція	Є безліч компаній, що випускають різноманітну продукцію і конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Товар кожного виробника відрізняється якимись особливостями.	Створення продукції під замовлення.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна	Створення чогось нового	Створення нового способу очистки промислового повітря
3. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція за більш вигідні умови виробництва, за розширення ринків збуту своїх товарів, за одержання найбільшого прибутку між конкурентами в одній галузі	Удосконалення структури виробництва відповідно до потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	В створенні товару різних видів (марок, товщини)	Створення товару під замовлення.
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат на її компоненти).
6. За інтенсивністю: марочна	Для вдалого просування, підвищення каналів збуту, кількості клієнтів та партнерів необхідно зарекомендувати себе, створити власне ім'я	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів.

Можна зробити висновок, що для того, щоб проект був конкурентоспроможним на ринку, він повинен бути інноваційним та маловитратним, щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера. Згідно цієї моделі розглядаємо 5 основних сил, які необхідно врахувати перед виходом на ринок, опис наведено в таблиці 5.8.

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції: конкурент, що є вже в галузі; потенційні конкуренти; наявність товарів замінників; постачальники, що конкурують за ринкову владу; споживачі.

Таблиця 5.8 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Провент,ТОВ (П), "Вент-Заводи",ТОВ (В), «МП «ПРОМТЕХКОМПЛЕКТ» (М), Cement Roadstone Holding (С)	Основні бар'єри входження на ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та досвідно-конструкторських робіт	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном)	Цінова чутливість покупців. Прихильність до відомих брендів. Негативне ставлення до інновацій	Товарами замінниками є нова продукція. Але на даний момент аналогів по показникам ціни немає

Висновки:	Основна перевага – досвід, відоме ім'я. Але, за рахунок інновацій, тісного контакту з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.	Можливість входу на ринок існує. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.	Постачальники загалом не диктують умови. На даний момент існує велика низка можливих постачальників. Наш продукт є доволі адаптованим для видозмінених компонентів.	Диктують умови на ринку: якщо співвідношення ціна/якість буде не співмірним, можуть відмовитися від продукту, але спочатку ще нема з чого вибрати...	Мінімальні обмеження через товари-замінники.
------------------	---	--	---	--	--

Згідно отриманого аналізу конкуренції визначено, що конкуренція на ринку, що важливим конкурентним рішенням є розвиток технології очистки промислового повітря, шляхом модернізації та створення нового обладнання.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 5.8, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (таблиця 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5) та факторів маркетингового середовища (таблиці 5.5, 5.6) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності.

Аналіз факторів конкурентоспроможності наведено в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціна	За рахунок малокомпонентності системи – загальна вартість знижується
2.	Інноваційність технології	Впровадження такої ідеї не було застосовано в цьому напрямку раніше
3.	Енерго- та ресурсозбереження	Завдяки вдосконаленню зменшуються витрати (тому, що працює 1 апарат замість 2)
4.	Адаптованість продукту на суміжні ринки	Сам продукт не є адаптивним, але очищене повітря необхідне.

5.	Можливість виходу на закордонний ринок	Можливо впроваджувати ці системи не тільки на території України
6.	Малокомпонентність	Порівняно невелика кількість компонентів на відміну від систем відомих виробників.

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Провент,ТОВ (П),

"Вент-Заводи",ТОВ (В),

«МП «ПРОМТЕХКОМПЛЕКТ» (М),

Cement Roadstone Holding (С)

Таблиця 5.10 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бал и 1- 20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Клаір»						
			-3	- 2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна	20			С	П,В,М			
2.	Інноваційність технології	20			П,В,М, С				
3.	Енерго- та ресурсозбереження	20			П,В,М, С				
4.	Адаптованість продукту на суміжні ринки	10				П,В,М,С			
5.	Можливість виходу на закордонний ринок	10				П, М,	В, С		
6.	Малокомпонентність	17		М	П,В,С				

Нашими сильними сторонами є:

- Інноваційність технології;
- Енерго- та ресурсозбереження;
- Малокомпонентність;

Нашими слабкими сторонами є:

- Можливість виходу на закордонний ринок.

Складаємо SWOT-аналіз (матриці аналізу сильних (Strength), слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (таблиця 5.9), та вносимо результати до таблиці 5.10.

Таблиця 5.11 – SWOT - аналіз стартап -проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Унікальність 2. Енергоефективність 3. Екологічність 4. Висока якість (тобто якість очистки промислового повітря)	1. Ресурсозалежність 2. Конкурентність 3. Невідомість
Можливості	Загрози
1. Доступність ресурсів 2. Зміниться технологія виготовлення очистки промислового повітря 3. Підвищення кваліфікації кадрів 4. Більша схильність до модернізації, ніж до повного оновлення виробництва	1 . Необхідність закупівлі агрегатів за кордоном 2. Політичні конфлікти між країнами 3. Нестабільність курсу гривні

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуємо з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, отримані дані вносимо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Можливість співпрацювати через інтернет (дозволить зберегти час)	Необхідно розрекламувати себе це домовлення з фірмами яким потрібен мій продукт (продаж, послуги..), поширення в соц. мережах але не навіязуватися (кошти з доходів)..	Можливо зробити за декілька днів-тижнів.
2.	Робота над адаптивністю систем для впровадження на різні типи, види та рівні виробництва	кошти з доходів	Місяці
3	Пошуки каналів зв'язку з потрібними державними установами для отримання інвестицій	Забезпечення державою	Тижні-місяці
4	Кур'єрська доставка та онлайн послуги у реальному часі, інтернет аналіз конкурентів і показ переваг	Реклама, кошти з доходів	Тижні-місяці
5	Посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей	висока	місяці

Виходячи з аналізу, таблиця 5.13 , в якості альтернативи обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший [48].

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (таблиця 5.13). Розроблення ринкової стратегії проекту проводимо згідно методикою наведеною в [19].

Таблиця 5.13 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Підприємства, що займаються очисткою повітря	Визначатиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати пов'язані з впровадженням чи імплементації ідеї проекту в промислову діяльність	Залежатиме від рівня, темпів розвитку економіки взагалі і галузей – споживачів зокрема, а також рівня і характеру підтримки інноваційного підприємства зі сторони держави	Низька, а концентрація висока	Високі бар'єри входу на ринок
Обрано наступні цільові групи: Провент,ТОВ "Вент-Заводи",ТОВ «МП «ПРОМТЕХКОМПЛЕКТ» Cement Roadstone Holding					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо сільськогосподарської, приладобудування та будівельна промисловості і використовуємо стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку, яка наведена в таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Ринкове позиціонування .	Диференційований маркетинг	Передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару, бути реальною або уявною.	Диференціації

Отже, для роботи в обраних сегментах ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 5.15.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1.	Ні	Передбачається розвиток ринку; треба починати з клієнтів не зациклених на відомому бренді, тих, хто готовий експериментувати	Ні	Наслідування лідера (Провент) за ознаками: якісна продукція та надання якісних послуг

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (таблиця 5.16) та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування (таблиця 5.17). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 5.16 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.Аргументована ціна. 2. Супроводження товару 3. Необхідна як-ість	Стратегія диференціації	1. Продукція вищої якості за конкурентну 2. Можливість економити на ресурсах 3. Програми лояльності за тривалі контракти 4. Супровід товару	1. Висока якість та надійність. 2. Тривалі контракти. 3. Програми лояльності 4. Екологічність.

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 20 підсумовуємо результати

попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Підвищення продуктивності, енергоефективності та якості отриманого продукту	Продуктивність, енергоефективність, якість вихідного продукту, екологічність	Продуктивність, енергоефективність, якість вихідного продукту, екологічність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (таблиця 5.18). Орієнтовний перелік можливих характеристик товару наведено у методиці [46].

До основних техніко-економічних характеристик товару відносяться:

- Економічні – вартість обслуговування, експлуатації, утилізації, витратних матеріалів, ремонту, знижки;
- Призначення (технічні) – показники, що визначають головний напрямок використання товару та можливу сферу його застосування: класифікаційні показники, складу і структури, технічної досконалості;
- Надійності – здатність товару безвідмовно функціонувати: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність;
- Технологічні – можливість оптимізації витрат матеріалів, праці, коштів, часу під час технологічної підготовки виробництва, виготовлення та використання товару;

- Ергономічні – показники ступеню адаптованості технічних та конструктивних рішень виробу до біологічних властивостей людини та середовища використання товару: гігієнічні, антропометричні, фізіологічні та психологічні;

- Транспортабельності – визначають пристосованість продукції до транспортування, підготовчих, початкових і кінцевих операцій перевезення;

- Екологічності – характеризують рівень негативного впливу на довкілля;

- Безпеки – безпечності та нешкідливості споживання товару.

Формулюємо три рівні товару: товар за задумом, товар у реальному виконанні та товар із підкріпленням. Далі розглядаємо техніко-економічні характеристики кожного рівню товару, отримані дані вносимо до таблиці 5.18.

Товар за задумом – нова конструкція циклонного апарату, що дозволяє інтенсифікувати процес вловлювання високодисперсних твердих частинок.

Товар у реальному виконанні – поліпшення циклонного апарату.

Товар з підкріпленням – сервісне обслуговування та консультації.

Таблиця 5.18 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепції).
	Створення нового способу очистки промислового повітря від полідисперсного забруднення, який дасть змогу підвищити ефективність вловлювання та збільшити екологічні показники процесу.
II. Товар у реальному виконанні	Виготовлення модернізованого циклонного апарату, який дасть створити новий процес очистки промислового повітря. Цей процес буде мати вищі екологічні показники, ніж класичний процес очистки.
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування міжнародні та вітчизняні стандарти ДСТУ, ISO, DIN та інші.

III. Товар із підкріпленням	Створення нового процесу
	До продажу : Роз'яснення клієнтові питань з технологією Після продажу: Гарантія якості продукції
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Використання власних запатентованих розробок та методів оптимізації, консультування та шляхів розв'язку проблеми.	

Даний циклон захищено патентом України на корисну модель № u201807571 від 25.04.2019 року.

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (таблиця 5.19). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.19 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу

1.	Відповідно до принципу дії ціна варіюється від 5500-7800 грн	Аналоги на порядок дорожчі тому, що там потрібно встановлювати комплекс із агрегатів	Промисловий ринок залежить від замовлення товару	200-5000 грн/ Одна консультація, онлайн безкоштовно.
----	--	--	--	---

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 5.20):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 5.20 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти хочуть на власні очі бачити продукт та його тестування перед закупівлею, потребують доставки, впровадження, консультацій, супроводу	Якість товару, потрібні характеристики, швидкість перевезення до клієнта	Нульовий рівень. Наша компанія сама займається всіма етапами виготовлення продукції. Споживач отримує готову продукцію.	Власна система збуту і домовленість про подальшу співпрацю

Система збуту товарів - ключова ланка комерційної діяльності й свого роду фінішний комплекс у всій діяльності фірми по створенню, виробництву й доведенню товару до споживача. Власне, саме тут споживач або визнає, або не визнає всі зусилля підприємства корисними і потрібними для себе і, відповідно, купує або не купує її продукцію і послуги.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (таблиця 5.21).

Таблиця 5.21 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1.	Орієнтована на швидке та ефективне спілкування, бажано спеціалізована	Спілкування як онлайн (сайти, соц.мережі) так і офлайн (менше) (зустрічі, телефонні розмови, виставки (власні) тощо). Друкована продукція (каталоги, спецвидання). Документальне оформлення домовленостей	Якість залежить від ціни; Тривале партнерство = лояльні ціни; Вчасно, ефективно і економно.	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних (розрахунки, графіки, діаграми). Призначення зустрічей.

Встановлено, що використання модернізованого циклонного апарату дасть змогу сконденсувати вологу, яка знаходиться у пилоповітряній суміші. Це зможе покращити екологічний ефект процесу, зменшити навантаження на скрубери та підвищити економічність процесу.

5.6 Висновки

1. Визначено сильні та слабкі характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними

апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

2. Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

3. Ефективність використання модернізованого циклонного апарату свідчить про значний прибуток, а відповідно і наявність попиту;

4. Наявність попиту, що визначається потребою підвищення продуктивності, енергоефективності та якості отриманого продукту, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

5. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

Спроможність стартап проекту дозволяє стверджувати про перспективи створення та розвитку стартапу.

ВИСНОВКИ

1. Дисертація спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі— підвищення енергоефективності процесу грануляції та екологічної безпеки, шляхом встановлення циклону з локальним зрошуванням і з системою часткової конденсації парів, яка дозволяє окрім вловлювання проводити нагрів води для технічних потреб.

2. Сформульовано та обґрунтовано фізичну модель процесу вловлювання і конденсації при цьому парів води.

3. Уточнено математичну модель процесу та проведено її чисельний розв'язок.

4. Розроблено методику і спосіб процесу вловлювання тонкодисперсних сумішей із застосуванням гідротранспорту вихідного робочого розчину, та визначено дисперсний склад.

5. Встановлено, що процес вловлювання в циклонному апараті з оболонкою потрібно здійснювати в циклоні у формі конуса, адже він має збільшену поверхню теплообміну та немає перегинів. Воду чи робочий розчин потрібно використовувати як теплоносій.

6. Відповідно до результатів теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано модернізацію конструкції циклону для вловлювання дрібних частинок.

7. Запропоновано модернізацію, щодо конструкції з частковою конденсацією парів та гідротранспорту

8. Розроблено алгоритм розрахунку та складальне креслення промислового апарату.

9. Складено алгоритм розрахунку поверхні теплообміну та відбору енергії.

10. Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при реалізації процесів сушіння і гранулювання по замкнутій схемі (повна або часткова конденсація парів розчину).

11. Проведено віртуальні експерименти у середовищі SolidWorks.

12. За результатами досліджень опубліковано 3 статті в Українських виданнях, опубліковано 5 тез доповідей до міжнародних науково-практичних конференцій студентів, аспірантів і молодих вчених, отримано 1 патент на корисну модель України.

ВЫВОДЫ

1. Диссертация направлена на решение важной научно-технической задачи - повышение энергоэффективности процесса грануляции и экологической безопасности путем установления циклона с локальным орошением и с системой частичной конденсации паров, которая позволяет кроме улавливания проводить нагрев воды для технических нужд.

2. Сформулировано и обосновано физическую модель процесса улавливания и конденсации при этом паров воды.

3. Уточнено математическую модели процесса и проведено ее численное решение.

4. Разработана методика и способ процесса улавливания тонкодисперсных смесей с применением гидротранспорта выходного рабочего раствора, и определен дисперсный состав.

5. Установлено, что процесс улавливания в циклонного аппарате с оболочкой нужно осуществлять в циклоне в форме конуса, ведь он имеет увеличенную поверхность теплообмена и не имеет перегибов. Воду или рабочий раствор нужно использовать в качестве теплоносителя.

6. Согласно результатам теоретических и экспериментальных исследований предложена модернизация конструкции циклона для улавливания мелких частиц.

7. Предложено модернизацию, по конструкции с частичной конденсацией паров и гидротранспорта.

8. Разработан алгоритм расчета и сборочный чертеж промышленного аппарата.

9. Составлен алгоритм расчета поверхности теплообмена и отбора энергии.

10. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при реализации процессов сушки и гранулирования по замкнутой схеме (полная или частичная конденсация паров раствора).

11. Проведено виртуальные эксперименты в среде SolidWorks.

12. По результатам исследований опубликовано 3 статьи в украинских изданиях, опубликовано 5 тезисов докладов в международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых, получено 1 патент на полезную модель Украины

CONCLUSIONS

1. The thesis aims to solve an important scientific and technical problem - improving the energy efficiency of the granulation process and environmental safety by mounting a cyclone with both local irrigation system and a system of partial condensation of vapors, which allows to heat water for technical needs in addition to capturing.

2. The physical model of the process of capturing and condensation of water vapor which accompanies this process has been formulated and proved.

3. The mathematical model of the process has been specified and its numerical solution has been carried out.

4. The technique and the method of the process of capturing finely divided mixtures using the hydrotransportation of the initial working solution have been developed, and the disperse composition has been determined.

5. It has been established that the process of capturing in a cyclone apparatus with a shell should be carried out in a cone shape cyclone, since it has an increased heat transfer area and doesn't have any bends. Water or working solution should be used as a coolant.

6. According to the results of theoretical and experimental studies, the modernization of cyclone construction to capture fine particles has been proposed.

7. Modernization of the construction with vapors partial condensation and hydrotransportation has been proposed.

8. The calculation algorithm and the assembly drawing of the industrial apparatus have been developed.

9. The algorithm of heat transfer area calculation and energy selection has been designed.

10. The results of the thesis can be used in implementation of drying and granulation processes in a closed circuit (full or partial condensation of vapor of the solution evaporating in the apparatus).

11. Virtual experiments have been conducted in the SolidWorks environment.

12. Based on the findings of the research 3 articles in Ukrainian periodicals and 5 theses at International Scientific and Practical Conferences of students, postgraduate students and young scientists have been published, 1 Declarative patent of Ukraine has been obtained on a useful model.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/severin_priodoohoronni_tehnologii/2-4.html [Електронний ресурс] дата звернення 08. 04 2019;
2. <https://studfiles.net/preview/5850824/page:14/> [Електронний ресурс] дата звернення 08. 04 2019;
3. Патент № u2018 07571 (UA) B04C 3/00. Циклон/В.В. Новодворський, А.Р. Степанюк (UA); – Заявл. 06.07.2018; Опубл. 25.04.2019, бюл. № 8;
4. httpswww.gea.comenbinariesdryer-flash-fluidized-bed-calciner-gea_tcm11-34828.pdf.
5. GEA Niro Процессный инжиниринг, ООО. – [Електронний ресурс] – <http://www.gea-pe.ru/gpru/cmsdoc.nsf/WebOoc/webb7gdb66>
6. httpswww.gea.comenbinariesdrying-spray-atomizer-fluid-bed-particle-formation-chemical-gea_tcm11-34869.pdf.
7. httpswww.glatt.comfileadminuser_uploadcontentpdf_downloadsProduktbroschuerenrussischWirbelschichtanlagen_RU_141022.pdf.
8. Jun-Ho Jia, Jungho Hwanga, Gwi-Nam Bae, (2004), Particle charging and agglomeration in DC and AC electric fields, Journal of Electrostatics, 61, 57–68;
9. Junchao Xua, Yan Yua, Yanshan Yin, (2017), Heterogeneous condensation coupled with partial gas circulation for fine particles abatement, Chemical Engineering Journal, 330, 979–986;
10. Dong Zhou, Zhongyang Luo, Jianping Jiang, (2016), Experimental study on improving the efficiency of dust removers by using acoustic agglomeration as pretreatment, Powder Technology, 289, 52–59;
11. Hao Wu, Danping Pan, Rui Zhang, (2017), Abatement of Fine Particle Emissions from a Coal-Fired Power Plant Based on the Condensation of SO₃ and Water Vapor, 31, 3219-3226;

12. Guo Yiquan, Zhang Junying , Zhao Yongchun, (2017), Chemical agglomeration of fine particles in coal combustion flue gas: Experimental evaluation Fuel, 203, 557–569;
13. Батлук В. В., Батлук В. А., Басов М. В., (2009), Створення пиловловлювачів для полідисперсного пилю, ОХОРОНА ПРАЦІ, 2 (16), 181-187.
14. Асламова В.С., Жабей А.А., (2010), Автоматизированная система исследования циклонов и скрубберов, Энергетика, № 4, 71-76.
15. Shuyan Wang , Haolong Li , Ruichen Wang, Xu Wanga, Ruichao Tian, Qiji Sun, (2018), Effect of the inlet angle on the performance of a cyclone separator using CFD-DEM, Powder Technology.
16. Серебрянский Д.А.1, новаковский Е.В., (2009), Очистка газов от пыли в центробежных фильтрах, Пром. теплотехника, т. 31, № 3, 55-61;
17. Sakura G. B., Leung A.Y.T. (2016), Improvements of the cyclone separator performance by down-comer tubes, Journal of Hazardous Materials, 311, 100-114.
18. Luciano R. D., Silva B. L., Rosa L. M., Meier H. F., (2018), Multi-objective optimization of cyclone separators in series based on computational fluid dynamics, Powder Technology, 325, 452-266.
19. Антонец І. В., (2016), Моделювання процесів переносу у трифазових полідисперсних потоках стосовно до мокрої очистки газів від твердих частинок, Інститут Вугільних Енерготехнологій, Київ, 141.
20. Дубровський В. В., Підвисоцький О. М., Шрайбер О. А., (2011), До визначення ефективності уловлювання частинок леткої золи краплями, Проблеми загальної енергетики, 3 (26), 5.
21. Рижков С. С., Ощип О. В., (2011), Інтенсифікація осадження високодисперсних частинок у лабіринтному сепараторі за рахунок термофоретичних ефектів, збірник наукових праць НУК, № 4, 99-107.
22. Шелюх Ю.Є, (2012), Сучасні методи очищення повітря від

промислових видів пилу, Вісник ЛДУ БЖД, №6, 214-218.

23. Рижков С. С., Пастухов С. Ю., (2010), Численное моделирование осаждения высокодисперсных частиц в проточной части сепарационного оборудования, Электронный Вісник НУК, №3, 7.

24. Технологии грануляции компании Glatt. – [Электронный ресурс]. [http; www.glatt.com](http://www.glatt.com).

25. Касаткин А.Г (1961), Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва, -829с.

26. Процеси та обладнання хімічної технології: підруч./'КПІ', 2011.-Ч.2.- 416 с. - Бібліогр.: с.415-415 с.

27. Sulzer Gas/Liquid Separation Technology. — Winterthur: Sulzer Chemtech, 2014.— 24 p.

28. Патент №117682 (UA), МПК(2018.01) B01D 50/00. ЦИКЛОН-ФІЛЬТР / Зацеркляний Мелентій Мелентійович (UA), Столевич Тетяна Борисівна (UA), Зацеркляний Олександр Мелентійович (UA),— Заявл. 29.04.2016; Опубл. 10.09.2018— Бюл.№17.

29. Кошкарев С.А., Азаров В.Н., (2015), Оценка эффективности аппарата мокрой очистки обеспыливания выбросов печей обжига керамзита, Инженерно-строительный журнал, №2, 18-32.

30. Патент № 0369849 (US), МПК(2006.01) B05B 14/48. POWDER COATING SYSTEM FOR COATING WORKPIECES WITH COATING POWDER Wagner International AG (CH),— Заявл. 01.12.2016; Опубл. 20.07.2018

31. http://om.univ.kiev.ua/users_upload/15/upload/file/cm_lecture_02.pdf

32. Швед М. П., Степанюк А. Р., (2017), Дослідження реологічних властивостей розчинів полімерів, „КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 17с.

33. <http://ukrvent.com/wp-content/uploads/2015/07/Katalog-tsiklon-SIOT.pdf>

34. СНиП 2.09.02–85. Строительные нормы и правила.

Производственные здания.

35. СНиП 2.04.05–91. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

36. ГОСТ 12.3.018–79 Системы вентиляционные методы аэродинамических испытаний.

37. ГОСТ 4640–76. Вата минеральная.

38. ГОСТ 2823–73. Термометры стеклянные технические. Технические условия.

39. ГОСТ 12.4.041–89. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования.

40. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

41. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С. О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>

42. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

43. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of

innovations. – 3'2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

44. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20ceminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

45. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

46. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

47. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : http://futureslog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

48. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. –К., 2016. – Режим доступу : <http://futureslog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

Додаток А

Програма розрахунку математичної моделі процесу

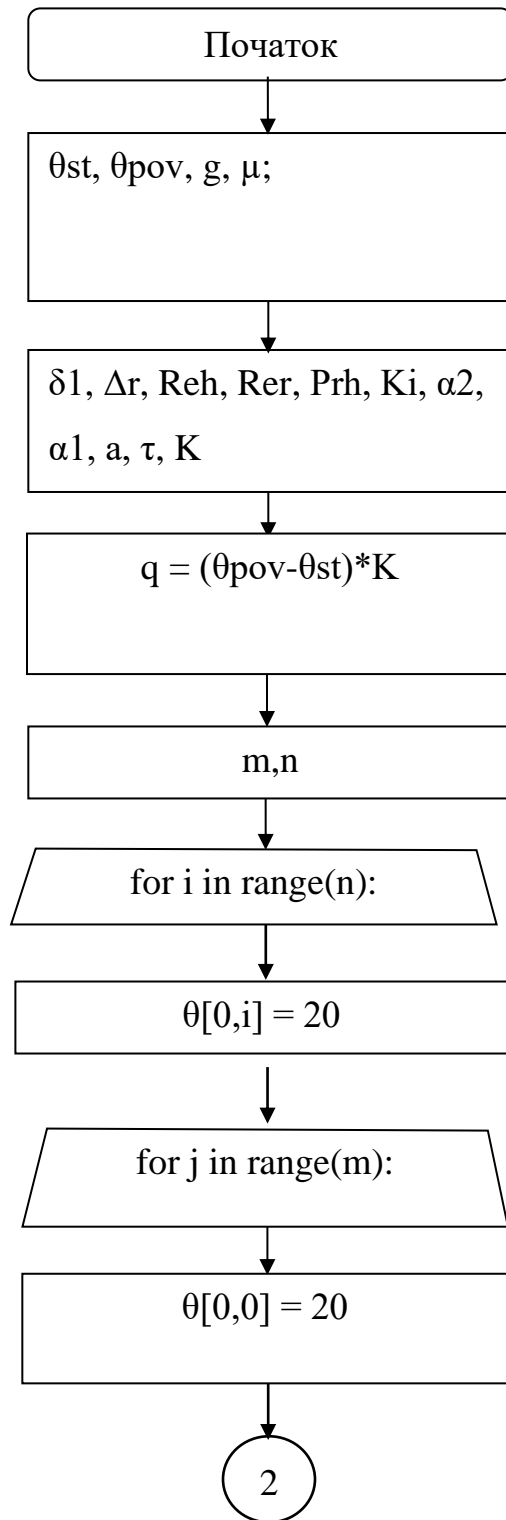
Таблиця А. 1 Таблиця ідентифікаторів

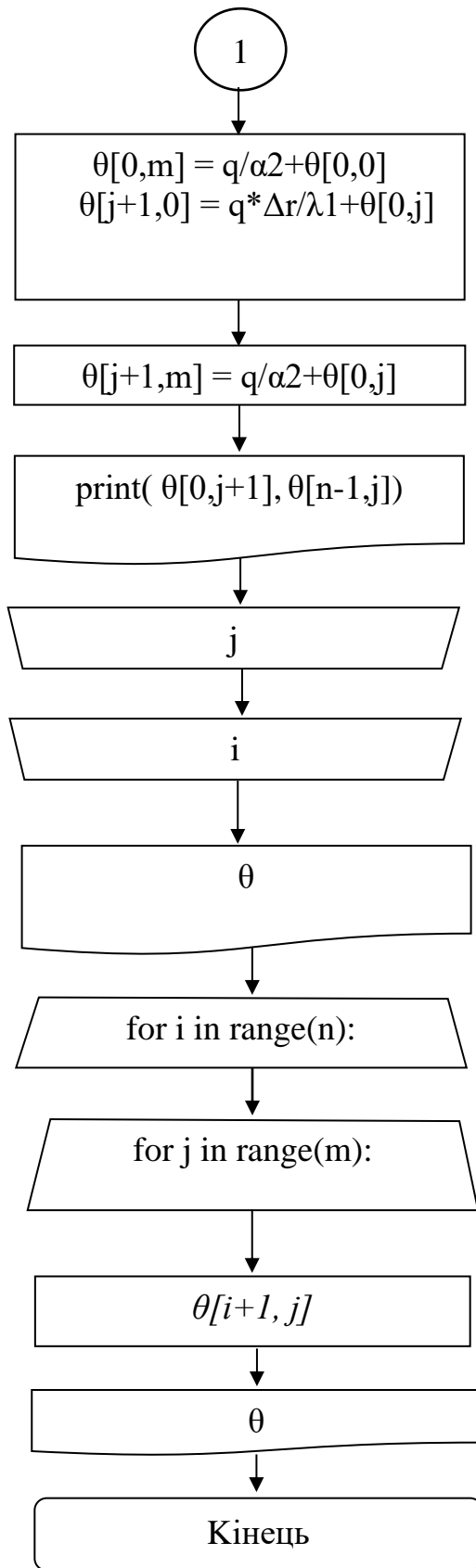
Ідентифікатор	Значення ідентифікатора	Розмірність
θ_{st}	Температура стінки	$^{\circ}\text{C}$
θ_{rov}	Температура повітря, що подається	$^{\circ}\text{C}$
g	Прискорення вільного падіння	м/с^2
μ	Динамічна в'язкість суспензії	$\text{Па}\cdot\text{с}$
ρ_h	Густина повітря	кг/м^3
δ_1	Товщина плівки	м
λ_1	Коефіцієнт теплопровідності суспензії	$\text{Вт/(\text{м}\cdot\text{К})}$
δ_2	Товщина стінки	м
λ_2	Коефіцієнт теплопровідності металу	$\text{Вт/(\text{м}\cdot\text{К})}$
Δr	Розглядувана область	м
ρ	Густина суспензії	кг/м^3
C_p	Теплоємність повітря	$\text{Дж/(\text{кг}\cdot\text{К})}$
Δt	Розбивок по товщині	м
V_s	Вільний об'єм	$\text{м}^3/\text{м}^3$
S	Площа всередині циклону	м^2
V	Об'єм всередині циклону	м^3
σ	Питома поверхня	$\text{м}^2/\text{м}^3$
L	Щільність зрошення	$\text{кг/(\text{м}^2\cdot\text{с})}$
λ_h	Коефіцієнт теплопровідності повітря	$\text{Вт/(\text{м}\cdot\text{К})}$
d_e	Еквівалентний діаметр	м
w_f	Швидкість газу	м/с
μ_h	Динамічна в'язкість газу	$\text{Па}\cdot\text{с}$
Re_h	Критерій Рейнольдса для повітря	
Re_r	Критерій Рейнольдса для рідини	
Pr_h	Критерій Прантля для повітря	

Продовження таблицю А. 1 Таблиця ідентифікаторів

Ідентифікатор	Значення ідентифікатора	Розмірність
Ki	Критерій Кирпичова	
α_2	Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(м ² *К)
α_1	Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(м ² *К)
K	Коефіцієнт теплопередачі	Вт/(м ² *К)
c	Теплоємність води	Дж/(кг·К)
a	Коефіцієнт температуропровідності	
τ	Крок по часу	с
q	Тепловий потік	Вт/с

Блок схема програми розрахунку математичної моделі охолодження





Програма розрахунку циклонного апарату з утворенням плівки

```
from math import *
from numpy import *
import matplotlib.pyplot as plt
m = 10
n = 10
 $\theta = \text{zeros}((n+1, m+1))$ 
 $\theta_{st} = 20$ 
 $\theta_{pov} = 95$ 
g = 9.80665
 $\mu = 0.203$ 
 $\rho = 1200$ 
 $\delta_1 = (\mu^{**2}/(\rho^{**2}*g))^{**0.33}$ 
 $\lambda_1 = 0.6$ 
 $\delta_2 = 0.001$ 
 $\lambda_2 = 16$ 
 $\Delta r = \delta_1/n$ 
r =  $\delta_1$ 
 $\Delta t = (\theta_{pov}-\theta_{st})/n$ 
 $V_s = 0.00628$ 
S = 0.58
V = 0.001
 $\sigma = S/V$ 
L = 0.0018
de =  $4*V_s/\sigma$ 
wf = 10
 $\lambda_h = 3.13*10^{*(-2)}$ 
```

$$\mu_h = 21.7 \cdot 10^{(-6)}$$

$$\rho_h = 0.972$$

$$c_p = 1009$$

$$Re_h = 4 \cdot w_f \cdot \rho_h / (\sigma \cdot \mu_h)$$

$$Re_r = 4 \cdot L / (\sigma \cdot \mu)$$

$$Pr_h = c_p \cdot \mu_h / \lambda_h$$

$$Ki = 0.01 \cdot Re_h^{**0.7} \cdot Re_r^{**0.7} \cdot Pr_h^{**0.33}$$

$$\alpha_2 = Ki \cdot \lambda_h / d_e$$

$$\alpha_1 = 9.74 + 0.07 \cdot (\theta_{pov} - \theta_{st})$$

$$K = 1 / (1/\alpha_1 + 1/\alpha_2 + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2)$$

$$c = 4190$$

$$a = \lambda_1 / (\rho \cdot c)$$

$$\tau = 0.1$$

$$\lambda_{pl} = 1005$$

$$q = (\theta_{pov} - \theta_{st}) \cdot K$$

for i in range(n):

$$\theta[0,i] = 20$$

for j in range(m):

$$\theta[0,0] = 20$$

$$\theta[0,m] = q/\alpha_2 + \theta[0,0]$$

$$\theta[j+1,0] = q \cdot \Delta r / \lambda_1 + \theta[0,j]$$

$$\theta[j+1,m] = q/\alpha_2 + \theta[0,j]$$

$$\text{print}(\theta[0,j+1], \theta[0,j+1], \theta[n,j], \theta[n-1,j])$$

print('θ')

print(θ)

for i in range(n):

for j in range(1, m):

$$\theta[i+1, j] = a \cdot \tau \cdot ((\theta[i, j-1] - 2 \cdot \theta[i, j] + \theta[i, j+1]) / \Delta r^{**2} + 1/r \cdot (\theta[i, j+1] - \theta[i, j]) / \Delta r) + \theta[i, j]$$


```

print('ρ=', ρ)
print('δ1=', δ1)
print('λ1=', λ1)
print('δ2=', δ2)
print('λ2=', λ2)
print('Δr=', Δr)
print('Δt=', Δt)
print('Vs=', Vs)
print('σ=', σ)
print('L=', L)
print('de=', de)
print('wf=', wf)
print('λh=', λh)
print('μh=', μh)
print('ρh=', ρh)
print('cp=', cp)
print('Reh=', Reh)
print('Rer=', Rer)
print('Prh=', Prh)
print('Ki=', Ki)
print('α2=', α2)
print('α1=', α1)
print('K=', K)
print('a=', a)
print('τ=', τ)
print('λpl=', λpl)
print('q=', q)
print('θ[0,j]=', θ[0,j])
print('θ[0,j+1]=', θ[0,j+1])
print('θ[n,j]=')
print(θ)

```

Алгоритмічна схема програми для розрахунку промислового циклону в середовищі Mathcad зображена на рисунку А.1..

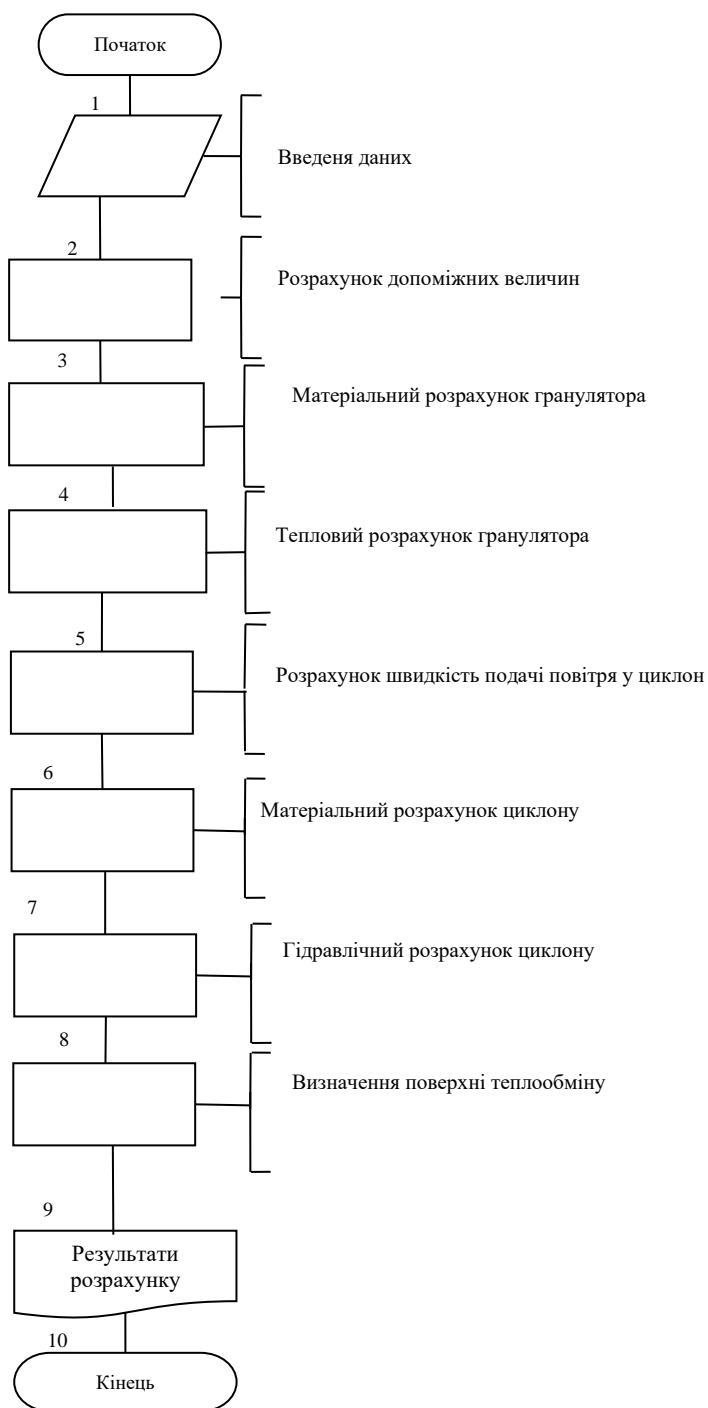


Рисунок А.1 – Алгоритмічна схема розрахунку промислового циклону

Додаток Б
Таблиця результатів експериментів

Таблиця Б.1 – Результати експериментальних досліджень розчинів полімерів

r1	0,01505		r2	0,01905		h	0,11		R	0,02235	K1	0,4701968	
радіус внут. циліндра			радіус зов. циліндра			висота змоч. пов.			радіус шків		стала віскозиметра		
20% Пилу													
19°C	m	Gr	G	N	$\Delta\tau_{cp}$	Ω		$j(r_1)$	$\tau_{3c}(r_1)$	μ_{ef}	$\ln j(r_1)$	$\ln \tau_{3c}(r_1)$	$\ln \mu_{ef}$
№	г	H	H	к-сть об	сек	об/с		с ⁻¹	Па	Па·с			
1	0,5	0,00981	0,153625	8,72	2,05	4,253659		142,1438	21,94386	0,154378	4,956839	3,0884872	-1,86835
2	1	0,01962	0,163435	8,72	1,97	4,426396		147,9161	23,34512	0,157827	4,996645	3,1503882	-1,84626
3	2	0,03924	0,183055	8,72	1,79	4,871508		162,7904	26,14766	0,160622	5,092463	3,2637597	-1,8287
4	3	0,05886	0,202675	8,72	1,71	5,099415		170,4063	28,9502	0,169889	5,138185	3,365577	-1,77261
5	4	0,07848	0,222295	8,72	1,65	5,284848		176,6029	31,75273	0,179797	5,173904	3,4579788	-1,71592
6	5	0,0981	0,241915	8,72	1,55	5,625806		187,9966	34,55527	0,183808	5,236424	3,54256	-1,69386
7	7	0,13734	0,281155	8,72	1,39	6,273381		209,6365	40,16034	0,191571	5,345375	3,69288	-1,6525
8	8	0,15696	0,300775	8,72	1,33	6,556391		219,0938	42,96288	0,196094	5,3895	3,7603364	-1,62916
9	9	0,17658	0,320395	8,72	1,29	6,75969		225,8874	45,76541	0,202603	5,420037	3,8235286	-1,59651
10	10	0,1962	0,340015	8,72	1,26	6,920635		231,2657	48,56795	0,210009	5,443567	3,8829638	-1,5606
35% Пилу													
1	0,5	0,00981	0,153625	8,72	1,8	4,844444		161,886	21,94386	0,135551	5,086892	3,0884872	-1,9984
2	1	0,01962	0,163435	8,72	1,78	4,898876		163,7049	23,34512	0,142605	5,098065	3,1503882	-1,94768
3	2	0,03924	0,183055	8,72	1,67	5,221557		174,4879	26,14766	0,149854	5,161855	3,2637597	-1,8981
4	3	0,05886	0,202675	8,72	1,63	5,349693		178,7698	28,9502	0,161941	5,186099	3,365577	-1,82052
5	4	0,07848	0,222295	8,72	1,54	5,662338		189,2174	31,75273	0,167811	5,242896	3,4579788	-1,78492
6	5	0,0981	0,241915	8,72	1,52	5,736842		191,7071	34,55527	0,18025	5,255969	3,54256	-1,71341
7	7	0,13734	0,281155	8,72	1,48	5,891892		196,8883	40,16034	0,203975	5,282637	3,69288	-1,58976
8	9	0,17658	0,320395	8,72	1,41	6,184397		206,6629	45,76541	0,22145	5,331089	3,8235286	-1,50756
50% Пилу													
1	0,5	0,00981	0,153625	8,72	2,03	4,295567		143,5442	21,94386	0,152872	4,966643	3,0884872	-1,87816
2	1	0,01962	0,163435	8,72	1,92	4,541667		151,7681	23,34512	0,153821	5,022354	3,1503882	-1,87197
3	3	0,05886	0,202675	8,72	1,73	5,040462		168,4363	28,9502	0,171876	5,126557	3,365577	-1,76098
4	5	0,0981	0,241915	8,72	1,66	5,253012		175,539	34,55527	0,196852	5,167861	3,54256	-1,6253
5	7	0,13734	0,281155	8,72	1,53	5,699346		190,4541	40,16034	0,210866	5,249411	3,69288	-1,55653
6	9	0,17658	0,320395	8,72	1,47	5,931973		198,2277	45,76541	0,230873	5,289416	3,8235286	-1,46589

Додаток В
Розрахунок похибок експериментальних даних

В.1 Розрахунок похибки прямого вимірювання обертів циліндра

Досліджувана випадкова величина x вимірюється n разів в однакових умовах з однаковою точністю. У відповідності із теорією похибок найбільш близьким до істинного значення x_0 вимірюваної величини x є середньоарифметичне значення \bar{x} .

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{В.1})$$

Як було показано раніше, чим більше число вимірювань, тим ближче середнє значення наближається до істинного. Результати окремих вимірювань в загальному випадку відрізняються від істинного значення. Абсолютні похибки i -того вимірювання

$$\Delta x_i = x_0 - x_i. \quad (\text{В.2})$$

Середня арифметична похибка визначається згідно із співвідношенням:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i|. \quad (\text{В.3})$$

Вона визначає межі в яких лежить більше половини вимірювань (в теорії похибок доведено, що це число рівне 57% від всіх вимірювань). Отже значення x_0 з 57% ймовірністю потрапляє в інтервал від $\bar{x} - \eta$ до $\bar{x} + \eta$. Тоді результати вимірювань величини x записуються у виді :

$$x_0 = \bar{x} \pm \eta. \quad (\text{В.4})$$

1. Обчислюється середньоарифметичне значення серії з n вимірювань:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (\text{В.5})$$

2. Знаходимо похибки окремих вимірювань $\Delta x = x_i - \bar{x}$.
3. Обчислюються квадрати похибок окремих вимірювань Δx^2 .

4. Якщо одне з вимірювань різко відрізняється за своїм значенням від решти вимірювань, то слід перевірити чи не є воно промахом.

5. Визначається середньоквадратична похибка середнього значення прямих вимірювань:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{B.6})$$

Таким чином, для скінченної вибірки дисперсію середнього значення (середньоквадратичним відхиленням середнього значення) розраховують за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{B.7})$$

6. Задаємо значення коефіцієнта надійності $\alpha = 0,95$. За допомогою відповідних таблиць для даного значення величини α і n визначають величину коефіцієнта Стюдента $t_\alpha(n)$. Згідно таблиці для $\alpha = 0,95$ і $n = 7$ величина коефіцієнта Стюдента $t_\alpha(n) = 2,45$ для 1-го експерименту та $\alpha = 0,95$ і $n = 6$ величина коефіцієнта Стюдента $t_\alpha(n) = 2,57$ для 2-го експерименту. Знаходять похибку вимірювань Δx , яка визначається межею довірчого інтервалу: $\Delta x = t_\alpha(n) \cdot S_{\bar{x}}$.

7. Якщо величина похибки вимірювань, визначена в п.6, виявиться порівнянною з величиною похибки приладу, то

$$\Delta x = \sqrt{(t_\alpha \cdot S_{\bar{x}})^2 + \left(\frac{t_\alpha(\infty)}{3} \cdot (\Delta x_{np})\right)^2} \quad (\text{B.8})$$

Для $\alpha=0,95$ $t_\alpha(\infty)=1,96$.

8. Обчислюється відносна похибка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (\text{B.9})$$

9. Остаточний результат записується у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x, \quad \varepsilon (\%). \quad (\text{B.10})$$

Середньоарифметичне значення серії з n вимірювань:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 4,22 \text{ об/с.}$$

Дисперсія середнього значення розраховують за формулою:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,0449.$$

де n – кількість дослідів в кожному експерименті.

Похибку вимірювань:

$$\Delta x = t_{\alpha}(n) \cdot S_{\bar{x}} = 2,45 \cdot 0,0449 = 0,11888.$$

Відносна похибка:

експеримент: $\varepsilon = 2,604 \%$

Отримали похибки вимірювань $x = 2,05 \pm 0,11888$, $\varepsilon = 2,604 \%$.

Додаток Г

Програма розрахунку циклонного апарату з охолодженням

Розрахунок гранулятора для виробництва органо- мінеральних добрив

Метою розрахунку є визначення технологічних параметрів процесу та основних розмірів апарату.

Вихідні дані:

$$G2 := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \quad d_e := 2.5 \quad \psi := 0.9 \quad \varepsilon_{\text{пл}} := 0.4 \quad D_{\text{min}} := 0.5 \text{ мм}$$

$$x_p := 50 \% \quad t_o := 18 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_1 := 350 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_2 := 97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Theta_1 := 30 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \rho_t := 1432 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad C_v := 4.19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \quad C_m := 1.43 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$x := 3.2 \quad u_2 := 0.1 \quad x_o := 0.1$$

$$a := 0.02 \quad \text{— коеф. втрати розчину в магістралі}$$

Розрахунки

Аналітичні вирази, що визначають залежність теплових параметрів теплоносія від температури t_o :

1) Густина теплоносія, кг/м^3 :

$$\rho_{\text{gaz}} := 1.29 \cdot \frac{273}{273 + t_1} = 0.565$$

2) Динамічна в'язкість теплоносія, $\text{Па} \cdot \text{с}$:

$$\mu_{\text{gaz}} := 1.7171 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{t_2 + 273}{273} \right)^{0.82} = 0.086$$

3) Кінетична в'язкість теплоносія, $\text{м}^2/\text{с}$:

$$\nu_{\text{gaz}} := \frac{\mu_{\text{gaz}}}{\rho_{\text{gaz}}} = 0.152 \quad \mu_{\text{gazy}} := 22.775 \cdot 10^{-6}$$

4) Теплоємність теплоносія, $\text{Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$:

$$c_{\text{gaz}} := 1000 \cdot (1.0005 + 1.1904 \cdot 10^{-4} \cdot t_o) = 1.003 \times 10^3$$

5) Теплопровідність теплоносія, $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$:

$$\lambda_{\text{gaz}} := 2.44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{t_o + 273}{273} \right)^{0.82} = 0.026$$

6) Залежність теплопровідності теплоносія від температури t_o , $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$:

$$\lambda_t := 2.44 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{t_o + 273}{273} \right)^{0.82} = 0.026$$

$$\varepsilon_{\text{пл}} := 3.2 \frac{\text{г}}{\text{кг}} \quad \text{— вологовміст повітря при температурі } 18 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ і } 45\% \text{ вологості з id діаграми}$$

7) Залежність парціального тиску водяних парів від абсолютного тиску P та вологовмісту x , Па :

$$P := 101325 \text{ Па}$$

$$P_p := P \cdot \frac{x}{x + 0.622} = 8.484 \times 10^4$$

1. Матеріальний розрахунок гранулятора

Витрати вихідного розчину з урахуванням заданої продуктивності, кг/с :

$$G1 := \frac{G2 \cdot (1 + a) \cdot (100 - u_2)}{x_p \cdot \psi \cdot 3600} = 0.629$$

Кількість випареної води, кг/с :

$$M_{\text{vol}} := G1 - \frac{G2}{3600} = 0.351$$

2. Тепловий розрахунок гранулятора

Температура матеріалу в псевдозрідженому шарі (приймається на 2 градуси менша ніж температура повітря), С:

$$t_{sh} := t_2 - 2 = 95$$

$\Theta_2 := t_{sh} = 95$ -температура матеріалу після шару

Витрата теплоти з висушеним матеріалом , що віднесена до 1 кг видаленої вологи, кДж/кг:

$$q_m := \frac{G_2 \cdot C_m}{3600} \cdot \left(\frac{\Theta_2 - \Theta_1}{M_{vol}} \right) = 73.513$$

Загальні теплові втрати віднесені до 1 кг випареної вологи, кДж/кг:

$$\Delta := 1.15 \cdot (C_v \cdot \Theta_1 - q_m) = 60.015$$

Витрати теплоти в навколишнє середовище, кДж/кг::

$$q_p := 0.15 \cdot \Delta = 9.002$$

Ентальпія теплоносія при вході в калорифер, кДж/кг:

$$I_0 := 1.01 \cdot t_0 + (2493 + 1.97 \cdot t_0) \cdot x_0 = 271.026$$

Ентальпія теплоносія при виході з калорифера, Кдж/кг:

$$I_1 := 1.01 \cdot t_1 + (2493 + 1.97 \cdot t_1) \cdot x_0 = 671.75$$

Вологовміст теплоносія при виході з апарату, кг в/кг п:

$$x_2 := \frac{(-I_1 + x_0 \cdot \Delta) + t_2}{\Delta - 1.97 \cdot t_2 - 2493} = 0.217$$

Питомі витрати теплоти кДж/кг:

$$q := \frac{I_1 - I_0}{x_2 - x_0} = 3.433 \times 10^3$$

$\pi_{ш} := -2.362 \cdot t_{sh} + 2501 = 2.277 \times 10^3$ -теплота пароутворення для води при температурі шару

Тепловий ККД гранулятора ,%:

$$\eta := \frac{\pi_{ш}}{q} \cdot 100 = 66.324$$

Загальні витрати теплоти, кВт:

$$Q := q \cdot M_{vol} = 1.206 \times 10^3$$

Приймаємо калорифер типу з потужністю E та коефіцієнтом використання тепла η_k

$$E := 500 \text{ кВт} \quad \eta_k := 0.8$$

Кількість електрокалориферів:

$$n_k := \frac{Q}{E \cdot \eta_k} = 3.014$$

Питомі витрати абсолютно сухого повітря, кг п/кг в:

$$I_s := \frac{1}{x_2 - x_0} = 8.566$$

Загальна витрата теплоносія, кг пов/с:

$$L_{тер} := I_s \cdot M_{vol} = 3.009$$

Середня температура теплоносія, С:

$$t_{ca} := \frac{t_1 + t_2}{2} = 223.5$$

Середній вологовміст в апараті, кг в/кг п:

$$x_{ca} := \frac{x_2 + x_0}{2} = 0.158 \quad \rho_{t1} := 1.29 \cdot \frac{273}{273 + 350} = 0.56: \text{густина повітря при } t_1$$

Середня об'ємна продуктивність за повітрям, м3/с:

$$V_{пов} := \frac{L_{тер}}{\rho_{t1}} = 5.322$$

Отже обираємо вентилятор типу ВЦУН із об'ємною продуктивністю V.

Отже обираємо циклон типу СИОТ 7 із об'ємною продуктивністю V.

$$R_p := \frac{0.445}{2}$$

Площа поперечного перерізу даного циклону буде:

$$S_c := 3.14 \cdot R_p^2 = 0.155$$

$$W_{sh} := \frac{\frac{V_{pov}}{2}}{S_c} = 17.119$$

Визначаємо питому теплоту пароутворення Дж:

$$R_{pa} := 0.225$$

$$S_p := 3.14 \cdot R_{pa}^2 = 0.159$$

$$W_{pov} := 0.5 \cdot \frac{V_{pov}}{S_p} = 16.74$$

$$G1p := G2 - G2 \cdot \psi = 100$$

$$\varphi :=$$

$$G2p := G1p \cdot \varphi = 95$$

$$G1v := G2p \cdot \frac{70}{30} = 221.667$$

Гідравлічний розрахунок апарату

Гідравлічний опір газорозподільного пристрою, Па:

$$\Delta P_{grp} := \frac{\xi_2 \cdot W_{sh}^2 \cdot \rho_{gaz}}{2} = 496.963$$

$$N_{pot} := \frac{\Delta P_{grp} \cdot V_{pov}}{1000} = 2.645$$

Тепловий розрахунок апарату

$$t1p := 95 \quad t1k := 50$$

$$t2p := 5 \quad t2k := 50$$

Відповідно до заданих температур визначаємо середній температурний напір:

$$t_b := t1p - t2k = 45$$

$$t_m := t1k - t2p = 45$$

$$r :=$$

$$\Delta t := \frac{t_b + t_m}{2} = 45$$

Визначаємо питому теплоту пароутворення Дж:

$$Q_p := r \cdot \frac{G1v}{3600 \cdot 2} = 7.389 \times 10^4$$

Визначаємо кількість енергії для охолодження повітря Дж:

$$Q_{pov} := c_{gaz} \cdot V_{pov} \cdot \rho_{gaz} \cdot \Delta t = 1.357 \times 10^5$$

Визначаємо загальну кількість енергії Дж:

$$Q_{zah} := Q_{pov} + Q_p = 2.096 \times 10^5$$

Відповідно до геометричних розмірів циклону, знайдемо площу поверхні охолодження:

$$F_c := 3.14 \cdot l_c \cdot (R_c + r_c) \cdot 2 = 20.973$$

$$d1 := 1.6$$

$$W_{пов}$$

Визначаємо критерій Прандтля:

$$Pr1 := \frac{c_{gaz} \cdot \mu_{gazy}}{\lambda_{gaz}} = 0.888$$

$$Sc_{yc} := \frac{F_c}{2} = 10.486$$

$$V_{cyc} := \frac{1}{3} \cdot 3.14 \cdot h \cdot (R_c^2 + R_c \cdot r_c + r_c^2) = 3.479$$

$$\sigma_{cyc} := \frac{Sc_{yc}}{V_{cyc}} = 3.014$$

$$dek := 4 \cdot \frac{V_{cyc}}{\sigma_{cyc}} = 4.616$$

$$Re_h := 4 \cdot W_{pov} \cdot \frac{\rho_{gaz}}{\frac{G1 \cdot v}{3600}} = 5.513 \times 10^5$$

$$Re_r := 4 \cdot \frac{G1 \cdot v}{\sigma_{cyc} \cdot \mu_{roz}} = 45.391$$

$$Ki := 0.01 \cdot Re_h^{0.7} \cdot Re_r^{0.7} \cdot Pr1^{0.33} = 1.452 \times 10^3$$

$$\alpha_o := \frac{Ki \cdot \lambda_v}{dek} = 188.382$$

Визначасмо критерій Рейнольдса для зовнішнього середовища циклону, з боку охолоджуючої оболонки:

$$Re_2 := \frac{W_v \cdot d1 \cdot \rho_v}{\mu_r} = 3.828 \times 10^6$$

Визначасмо критерій Прандтля:

$$Pr_2 := \frac{c_v \cdot \mu_r}{\lambda_v} = 14.652$$

Визначасмо критерій Прандтля при температурі стінки:

Значення критерія Нуссельта для розвинутого турбулентного режиму $Re > 10000$:

$$Nu_2 := 0.021 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_2^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_2}{Pr_2} \right)^{0.25} = 1.23 \times 10^4$$

Визначасмо коефіцієнт тепловіддачі всередині циклону $Вт/м^2 \cdot K$:

$$\alpha_2 := \frac{Nu_2 \cdot \lambda_v}{d1} = 7.354 \times 10^3$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_{tep1} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{1}{\alpha_2}} = 183.677$$

Площа поверхні теплообміну, $м^2$:

$$Fo := \frac{Q_{zah}}{K_{tep1} \cdot \Delta t} = 25.362$$

$$\Delta F := \frac{Fo - F_c}{Fo} = 0.173$$

Враховуючи значення із програми солідворкс:

Приймемо $\alpha_{повітря} := 150$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K_{t1} := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_{повітря}} + \frac{\delta_s}{\lambda_s}} = 140.909$$

Площа поверхні теплообміну, $м^2$:

$$Fo1 := \frac{Q_p}{K_{t1} \cdot \Delta t} = 11.653$$

$$\Delta F := \frac{F_c - Fo1}{F_c} = 0.444$$

Додаток Д
Публікації

Статті:

1. Моделювання процесу вловлювання в циклонному апараті нової конструкції [Текст] / В.В. Новодворський, А. Р. Степанюк // ScienceRise. — 2018. — №10, стр. 33-36.
2. Моделювання процесу вловлювання в циклонному апараті з утворенням плівки [Текст] / В.В. Новодворський, А. Р. Степанюк, Р. В. Кичак // ScienceRise. — 2019. — №1, стр. 16-19.
3. Обґрунтування способу очистки газового теплоносія при грануляції сушінням плівки [Текст] / Р. В. Кичак, В.В. Новодворський, А. Р. Степанюк // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. — 2019. — №1.
[Прийнято до друку]

Патенти:

1. Патент № u2018 07571 (UA) B04C 3/00. Циклон/В.В. Новодворський, А.Р. Степанюк (UA); – Заявл. 06.07.2018; Опубл. 25.04.2019, бюл. № 8

Тези:

1. Новодворський В.В., Степанюк А.Р. Моделювання процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок.// Збірник тез XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- Стор. 22-23
2. Новодворський В.В., Степанюк А.Р. Моделювання процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок.// Збірник тез XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- Стор. 54-55

3. Новодворський В.В., Степанюк А.Р. Моделювання процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок.// Збірник тез XV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- Стор. 62-63
4. Новодворський В.В., Кичак Р. В., Степанюк А.Р. Моделювання процесу вловлювання високодисперсних твердих частинок з утворенням плівки.// Збірник тез XVI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».-Стор. 8-9
5. Новодворський В.В., Кичак Р. В., Степанюк А.Р. Системи вловлювання багатокомпонентних викидів при грануляції// Збірник тез XVI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- Стор.29-30



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут газу НАН України
Грузинський технічний університет

Збірник тез доповідей XVI міжнародної
науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених

"РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ"

22-23 квітня
Київ 2019

УДК 661

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК З УТВОРЕННЯМ ПЛІВКИ

магістрант Новодворський В.В., аспірант Качак Р.В., к.т.н, доц. Степанюк А.Р.
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

З зростанням обсягу промислового виробництва виникають проблеми викидів компонентних забруднень, які випадають тверді частинки і воду. Під час виробництва в грануляторі генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок та пари води. Утворюється суспензія (рис. 1), концентрація якої має бути визначена в певних межах. Для вловлювання цих викидів було запропоновано осаджувати високодисперсні тверді частинки та пари води у модернізованому циклоні [1], витрати води в якому менші.

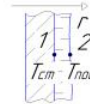


Рисунок - 1. Плівка в циклоні

Для конденсації парів води з поверхні апарату необхідно відвести зайлишкову енергію, цей процес описується наступним рівнянням:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right)$$

де $a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ – коефіцієнт температуропровідності.

Початкові умови: $t_1 = 20^\circ\text{C}, t_2 = 95^\circ\text{C}, q = \text{const}$;

Збірник тез доповідей XVI міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"

УДК 661

СИСТЕМИ ВЛОВЛЮВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ВИКИДІВ ПРИ ГРАНУЛЯЦІЇ

магістрант Новодворський В.В., аспірант Качак Р.В., к.т.н, доц. Степанюк А.Р.
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Виробництво органо-мінеральних добрив супроводжується викидами подисперсних компонентів у водний пар. Саме наявність у них корисних речовин і обумовлена їх цінність для виробництва [1, 2].

На рисунку 1 а – представлено різні схеми моделей псевдорідкого та способи їх реалізації за GEA Niro [3].

Із порівняння є багатоскладність, грануляції, яка забезпечує її рівномірність, що зменшує утворення викидів, а також очистка в замкнутому циклі (рисунк 1 б).

Недолік цих установок в тому, що водна пара не вловлюється при очистці теплоносія, окрім установок на рисунку 1 б.

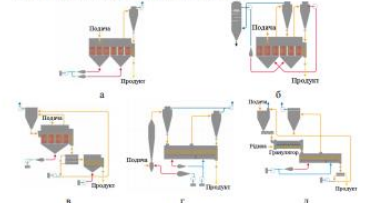


Рисунок 1

а – установка з двофазним сушаркою CONTACT FLUIDIZER™; б – установка з аэрозольно сушаркою, конфігурацією один в одному, замкнутого циклу; в – установка з сушаркою SPRAY FLUIDIZER™, охолоджувачем киплячого шару, які сполучені вібратором; г – установка з двофазною сушаркою киплячого шару, нагріву та охолодження відповідно, з подальшою



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет

Присвячена 90-річчю кафедри Машин та
апаратів хімічних і нафтопереробних
виробництв Національного технічного
університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»

Збірник тез доповідей XV міжнародної
науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених

"РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОБЛАДНАННЯ"

28-29 листопада
Київ 2018



Збірник тез доповідей XV міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених "Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання"
УДК 661

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

студент Новодворський В.В., к.т.н, доц. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

На сьогоднішній день виробництво добрив має надзвичайно важливе значення. Виробництво азотно-гумінових і азотно-мінеральних добрив з вмістом сульфату, калію, і здійснюється в грануляторі. Під час виробництва в грануляторі генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок. При осадженні цих частинок було запропоновано також видаляти пари води шляхом її конденсації. В результаті чого в шалонних апаратах [1] утворюється суспензія.

Для забезпечення руху суспензії по стінках циклоу необхідно дослідити властивості руху сугінші. Серед одних із найважливіших – в'язкість. По закону Ньютона сила внутрішнього тертя, тобто сила, яка проявляється при переміщенні одного шару ріднини відносно іншого, прямо пропорційна відносній швидкості переміщення і величині поверхні дотичу цих шарів.

Вона залежить від властивостей ріднини і не залежить від тиску.

Виділимо в потоці ріднини, що рухається по стінці, елементарний елемент $h \cdot 2\pi r \cdot dx$ (рисунк 1). На нього діють сили тяжіння, архімеда і тертя.

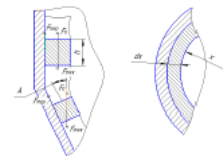


Рисунок 1 –Осадження плівки в циклоні



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет

Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених

“РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ”

23-25 квітня
Київ 2018

Збірник тез доповідей XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених “Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання”
УДК 661

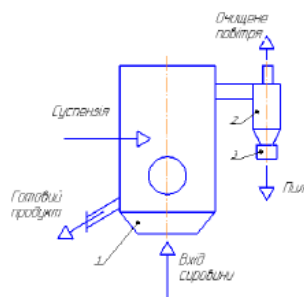
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

студент Новодворський В.В., к.т.н, доп. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Дослідження ефективності роботи циклонного апарата [1] є надзвичайно важливим процесом. Ефективність залежить від розміру частинок. Частинок розміром менше 5 мкм погано вловлюються.

В процесі створення гумінових органо-мінеральних добрив генерується значна кількість твердих дрібнодисперсних частинок та водяної пари. Для їх вловлювання було запропоновано використовувати подачу дрібнодисперсної фази води і одночасне охолодження корпусу циклону, для вивчення впливу параметрів процесу вловлювання створено установку рисунок 1, де здійснюється виробництво азото-гумінових і азото-мінеральних добрив.



1-диспергатор; 2-циклон; 3-бузюкер

Рисунок 1 – Схема проведення процесу

54

Збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів і молодих вчених “Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання”
УДК 661

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛОВЛЮВАННЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК

студент Новодворський В.В., к.т.н, доп. Степанюк А.Р.

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

На сьогоднішній день виробництво добрив має надзвичайно важливе значення. Виробництво азото-гумінових і азото-мінеральних добрив з вмістом сульфату, калію, і здійснюється в грануляторі. Під час виробництва в грануляторі генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок. Під час осадження цих частинок було запропоновано також видаляти пари води шляхом їх конденсації. В результаті чого в циклонних апаратах утворюється суспензія.

Рух уловленої суспензії суттєво залежить від її теплофізичних властивостей, особливо від в'язкості та густини, які совою чергу залежать від внутрішнього тертя, яке проявляється при наявності відносного руху сусідніх шарів рідини і залежить від сил зчеплення між окремими молекулами.

Для забезпечення руху суспензії по стінках циклону необхідно дослідити властивості руху суміші. Серед одних із найважливіших – в'язкість. У північ виділяємо елементарний кубічний об'єм зі стороною a , тоді на нього діють сили тяжіння і опору. У найпростішому вигляді повинна виконуватися умова (рисунок 1).

По закону Ньютона сила внутрішнього тертя, тобто сила, яка проявляється при переміщенні одного шару рідини відносно іншого, прямо пропорційна відносній швидкості переміщення і величині поверхні дотику цих шарів.

Вона залежить від властивостей рідини і не залежить від тиску.



Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут технічної теплофізики НАН України
Інститут Газу НАН України
Грузинський технічний університет

Збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених

“РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ”

29-30 листопада
Київ 2017

УДК 66.021.1
DOI: 10.15587/2313-8416.2019.156427

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛЮВЛЮВАННЯ В ЦИКЛОННОМУ АПАРАТІ З УТВОРЕННЯМ ПЛІВКИ

© В. В. Новодворський, А. Р. Степанюк, Р. В. Кочак

Запропонований циклону суттєво підвищує ефективність пилословлення комбінованого забруднення, яке складається з твердих частинок та водної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті, що підбірає і розігріває й виводить назовні повітряні маси. Проведено літературний огляд і встановлено, що було досліджено різноманітні і що авторами не було досліджено суттєвого зменшення. Було здійснено проба пилу, що вилучено та проведено визначення фракційного складу.

Ключові слова: пилословлення, пилословний апарат, очищення повітря, циклони, сепаратор, тверді частинки

1. Вступ

Широке впровадження інтенсивних технологій виробництва сільськогосподарських культур, використання в підвищення нормативних і мінеральних добрив, пестицидів та інших хімічних засобів порушує природні умови і забруднює навколишнє середовище. Наявність у мінеральних добривах різних токсичних домішок, низької властивості покриття річечини, а також можливі порушення технології використання можуть привести до серйозних негативних наслідків. Тому збереження екологічного балансу комплексного середовища набуває державного значення.

Сульфат амонію (амоній сульфатний) – хімікат, який визначає продуктивність ґрунту в великих кількостях. І не дивно, доміє спектри його застосування дуже різноманітні, він не відноситься до ґрунтових речовин, не відноситься до ґрунтового, що значно сприяє його використанню як добрива.

Під час переробки водних розчинів сульфату амонію у комплексі добрива однієї зі стадій процесу є очистка повітря від комбінованого забруднення. За допомогою циклону ефективність процесу досягає 96 %. Для підвищення ступеня вилучення краще використовувати конструкції, в якій буде відбиратися волога і теплота. Це дасть змогу підвищити ефективність процесу до 98 % і підняти ціну у міліарди.

Оскільки розробка способу очищення комбінованого забруднення при виробництві органічних добрив є важливою темою.

2. Літературний огляд

Незважаючи на те, що циклон використовується популяційно в сучасних технологіях, промисловості, підвищення ефективності вилучення дрібних часток є досі складною задачею.

Авторами [1] досліджувалися апарати трьох типів з використанням стандартного протипилового пилу (карбонного пилу): перший – апарат зі самонависаючимися жалюзі, другий – заповнюваний, третій – циклон ЦВ-11.

Авторами [2] розглянуто перспективний спосіб очищення вихідної пилу в атмосферу в виробничій паропилу високопродуктивними апаратами мо-

рого очищення з комбінованою системою пилословлення в висновках системних аспірацій.

Представлена структура і функціональні можливості автоматизованої системи дослідження циклонів і сепараторів, призначені для визначення щільності пилу і її гранулометричного складу [3].

У літературі [4, 5] вирішено задачу повітряного очищення. Наприклад, відокремлення обраних збільшення рівня достовірності теоретичного висновку суттєво зменшеною та сепараторних процесів. Результати досліджень, розігрівають проблему, вирішення якої дає змогу проводити очищення промислових і життєвих пилословних пилунок з високою ефективністю і мінімальними енергетичними витратами.

Авторами [6] досліджено вплив при різному діаметрі та концентрації частинки сепаратора та газбарити апарату. Отримані результати можуть забезпечити основу для подальшого вивчення моделей сепаратів газ-тверде тіло та розрахунок продуктивності циклонів.

Представлена детальна інформація про потік та продуктивність з'являються циклонів сепараторів і різноманітні умови отримані з CFD-DEM. Їх діяльність підтверджується зіставленням передбачуваного та вимірюваного падіння тиску та щільності пилу [7].

У літературі не наведено способи очищення комбінованого забруднення твердих частинок та пари води, тому було запропоновано циклону який підвищує ефективність пилословлення комбінованого забруднення, що складається з твердих частинок та водної пари, а також сприяє зменшенню температури в апараті [8, 9].

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є моделювання пилословлення комбінованого забруднення, яке складається з твердих частинок та водної пари та зменшення температури в апараті для часткової конденсації парової фази.

Для дослідження мети були поставлені наступні задачі:

– визначити залежність ефективності вилучення від швидкості пилу та надати рекомендації щодо

УДК 66.021.1
DOI: 10.15587/2313-8416.2018.146844

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЛЮВЛЮВАННЯ В ЦИКЛОННОМУ АПАРАТІ НОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

© В. В. Новодворський, А. Р. Степанюк

Запропонований циклону суттєво підвищує ефективність пилословлення комбінованого забруднення, яке складається з твердих частинок та водної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті. Проведено літературний огляд і встановлено, що було досліджено різноманітні і що авторами не було досліджено суттєвого зменшення. Було здійснено проба пилу, що вилучено та проведено визначення фракційного складу.

Ключові слова: пилословлення, пилословний апарат, очищення повітря, циклони, сепаратор, тверді частинки

1. Вступ

Циклон є найбільш широко використовуваним апаратами в промисловості для пилословлення. Ці апарати працюють за дієюм відокремлюючої сили, щоб відокремити тверді частинки від газоподібних потоків. Основними перевагами циклонів є простота виготовлення, відсутність рухомих деталей, відносно невеликий габаритний розмір і велика продуктивність [1].

2. Літературний огляд

Незважаючи на те, що циклон використовується популяційно в сучасних технологіях, промисловості, підвищення ефективності вилучення дрібних часток є досі складною задачею.

Авторами [2, 3] виконані дослідження, які показали вплив заповнення частинки у діаметрі від 1,6 г/м³ до 115,3 г/м³, швидкості падіння пилу та ефективності розділення. Авторами [4] досліджено вплив тиску та застосування декількох циклонів і залежності ефективності вилучення від цих параметрів. Авторами [5, 6] було розв'язано актуальну науково-технічну задачу побудови математичних моделей піддисперсного багатопотокового потоку та досліджено процес коагуляції. Авторами [7] наведено вплив температурного поля на концентрацію дисперсної фази.

Виконано порівняльний аналіз [8] моделей з різним значенням конструктивного параметра H , що представляє собою найвищий рівень між внутрішнім обертальним елементом і його зовнішнім стінкою, вимірний в колісній симетрії, було встановлено, що оптимальним значенням даного параметра є 15–17,5 мм, оскільки в даній області початкових швидкостей 15–30 м/с для частинки діаметром 10^{-4} – 10^{-3} м було найбільш сумарний коефіцієнт уловлювання при допустимих значеннях гідродинамічного опору. Авторами [9] виконані дослідження щодо очищення повітря.

В літературі не наведено способи очищення комбінованого забруднення високодисперсних твердих частинок та пари води, тому було запропоновано циклону який підвищує ефективність пилословлення комбінованого забруднення, що складається з твердих частинок та водної пари, та сприяє зменшенню температури в апараті [10].

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є моделювання пилословлення комбінованого забруднення, яке складається з твердих частинок та водної пари та зменшення температури в апараті для часткової конденсації парової фази.

Для дослідження мети були поставлені наступні задачі:

– обґрунтувати фізичну модель процесу вилучення комбінованого забруднення в циклонному апараті та підібрати математичну модель;

– визначити залежність ефективності вилучення від швидкості пилу та надати рекомендації щодо проектування циклонного апарату запропонованої конструкції.

4. Матеріали і методи

На сьогоднішній день виробництво добрив має надзвичайно важливе значення. Виробництво азотних і азотно-мінеральних добрив з високим сульфатом, калієм, і здійснюється в триадапторі. Під час виробництва в триадапторі генерується велика кількість твердих, дрібнодисперсних частинок та пари води. Для очищення цих вихідів було запропоновано осаджувач високодисперсних твердих частинок та пари води у модифікованому циклоні. В результаті чого в циклонному апараті утворюється суспензія.

Рух уловленої суспензії суттєво залежить від її теплофізичних властивостей, особливо від її в'язкості та густини, які в свою чергу залежать від внутрішньої структури, яка проявляється при наявності відносного руху суспензії парів рідини і залежить від сил зчеплення між окремими молекулами.

Для забезпечення руху суспензії по стінках циклону необхідно дослідити властивості руху суспензії. Серед інших її найважливіших – в'язкість. По закону Ньютона сила внутрішнього тертя, тобто сили, яка проявляється при переміщенні одного шару рідини відносно іншого, прямо пропорційна площині поверхні перетину і величині повільної дотичної цих шарів.

Вона залежить від властивостей рідини і не залежить від тиску.

Висхідна в ділянці рідини, що рухається по стінці, елементарний елемент δz (рис. 1). На нього діють сили тяжіння, дрімада і тертя.

Стан діловодства за заявкою на винахід (корисну модель) № u201807571

Перегляд Друк

Стан діловодства за заявкою на винахід (корисну модель) № u201807571

Позначення

- Успішно пройдена стадія
- Поточна стадія
- Стадія, що не використовується у діловодстві за заявкою

- Патент зареєстровано
- Підготовка до державної реєстрації та публікації
- Очікування документа про сплату державного мита
- Кваліфікаційна експертиза
- Очікування клопотання про проведення кваліфікаційної експертизи
- Формальна експертиза
- Встановлення дати подання
- Реєстрація первинних документів, попередня експертиза та введення відомостей до бази даних

Державне підприємство
УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
(УКРПАТЕНТ)

1 / 1 | в кодифікаторі | Друк | newdetailresults.html пошуку | назад |

Бібліографічні дані до патенту на корисну модель № 133682

ЦИКЛОН

Бібліографічні дані	Реферат (uk)	Реферат (ru)	Реферат (en)	Сторінка
Патент на корисну модель	описується перша сплата збору за підтримання чинності			
(11) 133682	(51) МПК (2006) B04C 3/00 B04C 9/00			
(21) 25.04.2019	(22) 06.07.2018			
(46) 25.04.2019, бюл. № 8				
(21) НОВОДВОРСЬКИЙ ВОЛОДИМИР ВАЛЕРІЙОВИЧ (UA); СТЕПАНЮК АНДРІЙ РОМАНОВИЧ (UA)				
(22) Новодворський Володимир Валерійович (UA); Степанюк Андрій Романович (UA)				
(73) НОВОДВОРСЬКИЙ ВОЛОДИМИР ВАЛЕРІЙОВИЧ, вул. Металістів, 8, кв. 518, м. Київ-57, 03057 (UA); СТЕПАНЮК АНДРІЙ РОМАНОВИЧ, пр. В. Мавковського, 66-а, кв. 132, м. Київ-232, 02232 (UA)				
(98) Новодворський Володимир Валерійович вул. Металістів, 8, кв. 518, м. Київ-56, 03056 (UA)				
(54) ЦИКЛОН				
(52) [немає даних]				